



**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет**

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

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

01-10 грудня
Київ 2025р.

УДК 66

ББК 35.11-5я43

О 16

Збірник тез доповідей XXXVII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів", 01-10 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – 374 с.

Збірник тез доповідей XXXVII 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 Андрєєв Ігор Анатолійович

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

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

ІТТФ НАН України

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

к.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

Учений секретар Інституту газу НАН України к.т.н., доц. Ільєнко Борис

Кузьмич

к.т.н., с.н.с., пр.н.с. Собченко Віктор Васильович

Редактор та комп'ютерна верстка:

асистент, PhD Подиман Григорій Сергійович

Рекомендовано до друку

Вченою радою Інституту

технічної теплофізики

НАН України

Протокол № 17

від 27.11.2025

Рекомендовано

Вченою радою

Інститут газу

НАН України

Протокол № 12

від 27.11.2025 р.

Рекомендовано до друку

Кафедрою машин та апаратів

хімічних

і нафтопереробних виробництв

Протокол № 10

від 04.12.2025 р.

Тези опубліковано за авторською редакцією.

СЕКЦІЯ 1
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І
НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

UDC 66.045.1

MODERNIZATION OF THE HEAT EXCHANGER WITH THE DEVELOPMENT OF AN AMMONIUM NITRATE PRODUCTION PLANT

Student Tishchenko O. S., associate professor, Ph.D. Novokhat O. A.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *This paper presents an improved technological scheme for producing ammonium nitrate using a nitric acid heat exchanger-heater. The principle of operation of a shell-and-tube vertical heater is considered, its role in the evaporation-free production method is analyzed, and the main directions of its modernization are substantiated in order to increase the efficiency of heat transfer, reliability, and energy saving.*

Keywords: AMICONE NITRATE, NON-Evaporation METHOD, HEAT EXCHANGER, NITRIC ACID HEATER, SHELL-TUBE APPARATUS, NEUTRALIZATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННИКА З РОЗРОБКОЮ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

Студент Тищенко О. С. доцент, к.т.н. Новохат О. А.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: *У даній роботі наведено удосконалену технологічну схему отримання аміачної селітри з використанням теплообмінника-підігрівача азотної кислоти. Розглянуто принцип роботи кожухотрубного вертикального підігрівача, проаналізовано його роль у безвипарному способі виробництва та обґрунтовано основні напрями його модернізації з метою підвищення ефективності теплопередачі, надійності та енергозбереження..*

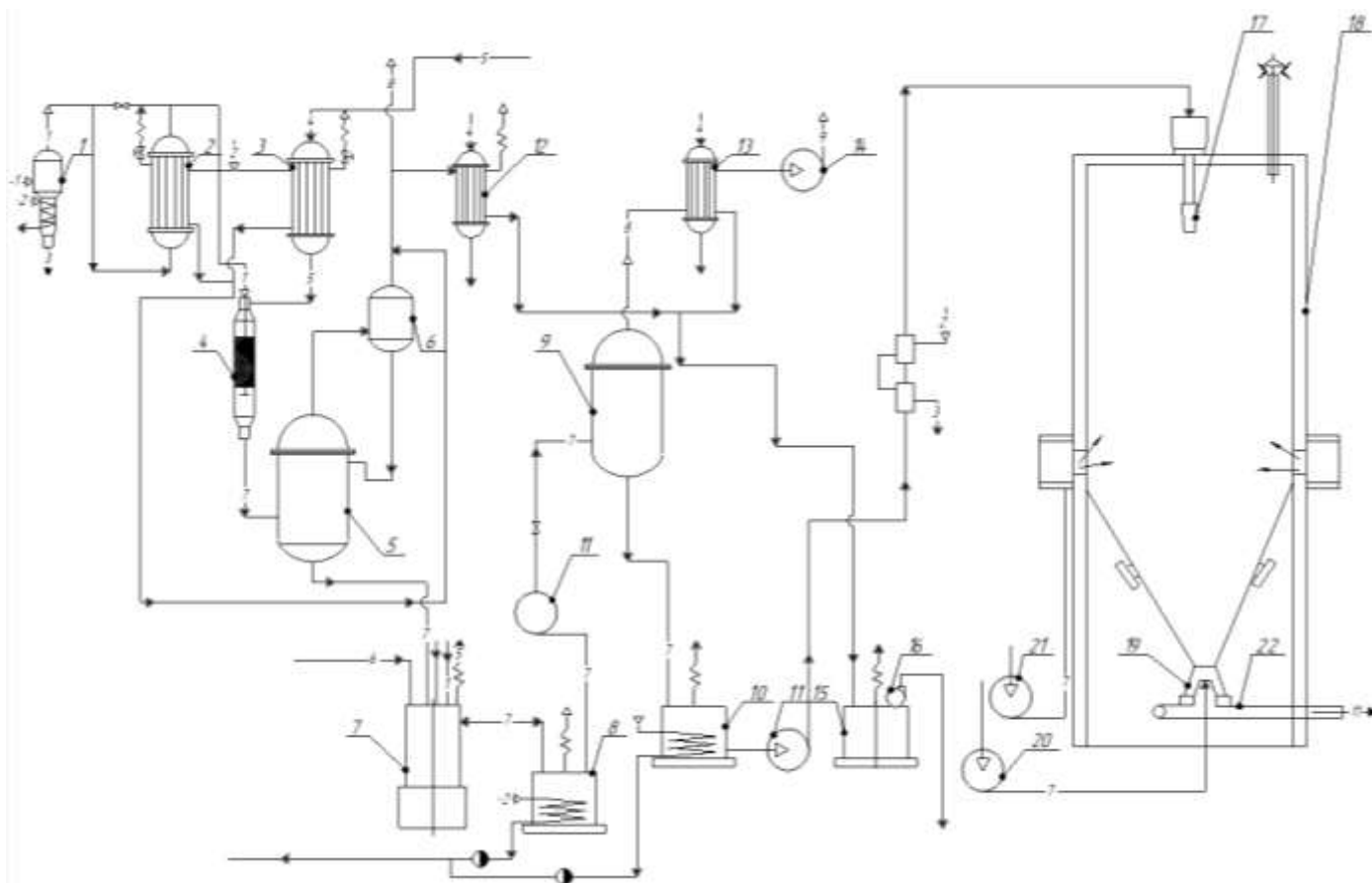
КЛЮЧОВІ СЛОВА: АМІЧАНА СЕЛІТРА, БЕЗВИПАРНИЙ СПОСІБ, ТЕПЛООБМІННИК, ПІДГРІВАЧ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ, КОЖУХОТРУБНИЙ АПАРАТ, НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ.

The production of ammonium nitrate (NH_4NO_3) by the evaporation-free method is based on the process of neutralizing nitric acid with ammonia without a subsequent stage of water evaporation. This method allows to significantly reduce energy costs and simplify the technological scheme, since there is no need to use evaporators. In this method, nitric acid is preheated, which ensures a more intensive neutralization process and stable process parameters. After neutralization, the resulting ammonium nitrate solution is sent for further concentration or directly to granulation [1, 2].

Ammonium nitrate is a highly effective concentrated mineral ammonium nitrate fertilizer with high solubility. It contains 34.4% nitrogen, is well absorbed by plants, and is suitable for any soil and agricultural crops. It has an acidifying effect on the soil. For agriculture, ammonium nitrate is produced in the form of spherical granules. Among all fertilizers, it ranks first in terms of frequency of use in agriculture, which is 55-60% of the mineral fertilizers available on the market.

Ammonium nitrate is also used as an explosive. Its critical diameter (the smallest diameter of a cylindrical charge at which detonation can spread) is so large (for raw, uncrushed saltpeter, it is close to several meters), and its susceptibility to detonation is so insignificant that pure saltpeter can be worked with in the same way as inert salts. The most common mixtures in industry and mining are ammonium nitrate with various types of hydrocarbon combustible materials, other explosive substances, as well as multicomponent mixtures [2].

The technological scheme for the production of ammonium nitrate by the non-evaporative method is shown in Figure 1.



1 – ammonia evaporator; 2 – ammonia heater; 3 – nitric acid heater; 4 – reactor-neutralizer; 5, 6 – separator; 7 – pre-neutralizer; 8 – collector; 9 – vacuum evaporator; 10 – collector for flotation; 11 – centrifugal pump; 12, 13 – surface condensers of juice vapor; 14 – vacuum pump; 15 – collector of juice vapor condensate; 16 – submersible pump; 17 – granulator; 18 – granulation tower; 19 – apparatus for cooling granules in a fluidized bed; 20, 21 – fans; 22 – belt conveyor

Figure 1 – Scheme of ammonium nitrate production by the evaporation-free method

Ammonia from the evaporator and nitric acid with a concentration of 47–50% of the composition, heated in heat exchangers to a temperature of about 50°C, under an absolute pressure of 0,35–0,45 MPa, enter the reactor-neutralizer, in which ammonia interacts with an aqueous solution of nitric acid, forming a melt of ammonium nitrate with a concentration of 96,5%. The resulting vapor-liquid emulsion enters centrifugal separators, in which the juice vapor is separated from the

melt. At the same time, the melt concentration due to self-evaporation as a result of a decrease in pressure from 0,35 to 0,125 MPa increases to 97,5% NH_4NO_3 .

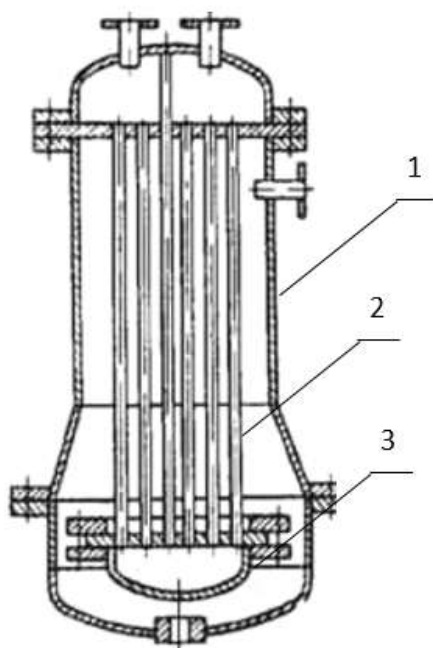
Since the melt after the separator has a temperature of about 200 °C, the scheme provides for the use of the physical heat of the ammonium nitrate melt in the vacuum evaporator. The melt from the separator is first directed to the pre-neutralizer, which is fed with the decomposition products of dolomite or apatite concentrate by nitric acid, which contributes to the production of non-caking ammonium nitrate. In addition, gaseous ammonia is fed to the pre-neutralizer to neutralize excess acidity. Then the melt flows into the collector, from which it is pumped to the vacuum evaporator.

In the vacuum evaporator, due to self-evaporation as a result of pressure reduction from 0,1 to 0,0347 MPa, the melt concentration increases to 98,5 - 99%, and the juice vapor formed in this process is fed to the surface condenser of the juice vapor for condensation. Inert gases are sucked out of the juice vapor by a vacuum pump and discharged into the atmosphere. The ammonium nitrate melt enters the melt collector and is fed through a centrifugal pump to the granulator, which rotates at a speed of 400 rpm, spraying the melt over the entire cross section of the granulation tower.

The formed melt droplets, falling downward, harden and turn into granules 1–3 mm in size. A device for cooling the granules in a fluidized bed is installed in the lower part of the tower, which is formed using air coming from fans. The cooled ammonium nitrate is fed to a conveyor, which is transported for packaging [1].

Nitric acid heaters are used to bring the temperature of nitric acid to the optimum before feeding it into the neutralization apparatus. Heating the acid ensures a stable neutralization reaction and increases the heat of the process, which improves product quality. One option for choosing a heat exchanger is a floating head heat exchanger.

The device is a vertical shell-and-tube heat exchanger, shown in Figure 2.



1 — body, 2 — pipes, 3 — inner bottom

Figure 2 – Design of a vertical heat exchanger with a floating head

The movable tube grid together with the attached cover form a “floating head”, which moves inside the casing when the pipes are heated and elongated. However, the compensation of temperature deformations in the devices is not complete, since the difference in the temperature expansion of the pipes can lead to the curvature of the tube grid. Therefore, in multi-pass heat exchangers with a casing diameter $D > 1$ m, with a significant (> 100 °C) change in the temperature of the medium in the tube bundle, floating head sections are installed, which are cut along the diameter.

The disadvantage of these devices compared to type H heat exchangers is a larger gap between the casing and the pipes (by the width of the floating head flange), the advantage is the possibility of extracting the tube bundle from the casing and mechanically cleaning the outer surface of the pipes when they are arranged in a corridor. The fastening of the floating head to the grate with a split flange, which consists of two half-rings, tightened by a limiting ring, allows you to easily extract the tube bundle from the casing with a minimum gap.

Nitric acid is supplied to the inner space of the tubes and moves downwards. Heating water vapor is supplied to the space between the tubes. When in contact with

colder tubes, the vapor condenses, giving off heat to the tube walls, through which it is transferred to the acid. The main mechanism of heat transfer is convection and thermal conductivity (conduction). The vapor condensate is removed from the lower part of the casing through a special pipe [3].

REFERENCES:

1. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230-231. – 200.
2. Мінеральні добрива: класифікація, властивості, застосування (Навчально-методичний посібник) : [текст] / Хацевич О.М., Джус Р.Р. /Факультет природничих наук; Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. – Івано-Франківськ, 2018. – 80 с.
3. 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.

УДК 66.06

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Гулієнко С.В., Менько Д. І.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто методику експериментального дослідження процесу регенерації забруднених мембранних модулів. Розвинені заходи щодо модернізації установки, які дозволять підвищити ефективність та продуктивність експериментальних досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОНЦЕНТРАЦІЙНА ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ЗАБРУДНЕННЯ, РЕГЕНЕРАЦІЯ

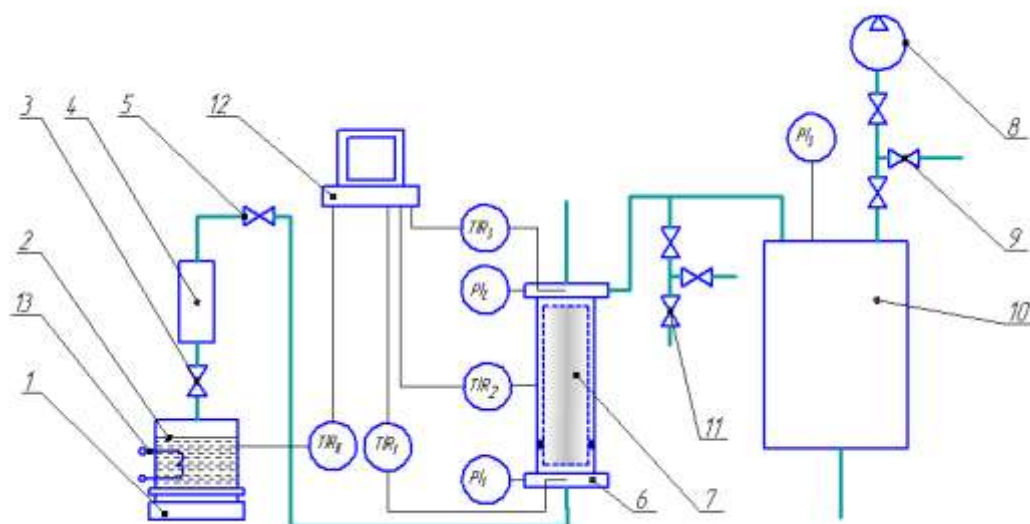
Abstract: The technique of experimental investigation of the regeneration process of fouled membrane modules was considered. The measures for the modernization of the experimental plant were developed. They can allow to increase the effectiveness and productivity of the experimental investigations.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: CONCENTRATION POLARIZATION, FOULING, REGENERATION

Основною проблемою при експлуатації мембранних установок є концентраційна поляризація та забруднення мембран. Для уникнення передчасного виходу мембран з ладу необхідно забезпечувати раціональні режими роботи мембранних модулів, належну роботу системи попередньої підготовки сировини, а також регулярне проведення регенерації або промивання мембран [1].

Для реалізації ефективного промивання забруднених мембран в попередніх роботах [2-3] була розроблена методика промивання мембранних

модулів з використанням вакуумування. Для її проведення була створена експериментальна установка, показана на рисунку 1.



1 – електронні ваги, 2 – ємність з промивним розчином, 3, 5 – регулювальний клапан, 4 – проміжна ємність, 6 – корпус; 7 – мембранний модуль, 8 -вакуум-насос; 9 – система скидання вакууму; 10 – вакуумна ємність; 11 – система відбору проб; 12 – персональний комп'ютер; 13 – електричний нагрівач

Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для регенерації мембран

Існуюча установка передбачала вимірювання витрат ваговим способом, тобто фіксування зміни маси ємності з промивним розчином за заданий проміжок часу. Проте точність вимірювання таким методом не висока. Також концентрація промивного розчину після проходження крізь мембранний модуль вимірювалася портативним TDS-метром, що потребувало системи відбору проб, яка при не достатньому закритті відсічного клапана могла призвести до підтягування атмосферного повітря в систему та зменшення рівня вакууму. Крім того, обидва ці типи вимірювання потребували достатнього великих затрат часу (понад дві хвилини на отримання значень в одній

експериментальній точці), що обумовило низьку продуктивність експериментальних досліджень. Така установка дозволяла неперервно вимірювати лише температуру.

Зазначені недоліки експериментальної установки призвели до неточностей у отриманих результатах, зокрема були однією з причини необхідності уточнення отриманого критеріального рівняння, що було зроблено в роботі [2].

Для вирішення цієї проблеми було змінено підхід до вимірювань і внесені зміни до конструкції установки. Для вимірювання витрат пропонується використовувати ротаметр, а для вимірювання концентрації TDS-метром. В такому разі забезпечується можливість відслідковувати зміни в динаміці, зокрема за допомогою відеофіксації показів цих приладів.

Зазначена модернізація дозволить підвищити продуктивність експериментальних досліджень та більш точно встановити закономірності процесу регенерації, а також визначити найбільш раціональні режими роботи, що враховують як характеристики масообміну, так економічні та експлуатаційні характеристики.

Перелік посилань:

1. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. (2010). Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes – A critical review. *Desalination*, Vol. 250(1), pp. 236–248, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.056>.
2. Hulienko S. V., Kornienko Y. M., Metlina M. S., Tereshenko I. Y., Kaminskyi V. S. (2020). The correction of the dimensionless equation for the mass transfer coefficient estimation during the membrane modules regeneration. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 7(2), pp. F24–F29, doi: [https://doi.org/10.21272/jes.2020.7\(2\).f4](https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(2).f4)

3. Korniyenko Y., Guliienko S., Lialka M. (2015). Mathematical simulation of fouled membrane modules regeneration. Ukrainian Food Journal. 2015. Vol. 4. Is. 3, pp. 481-493.

UDC 630

CONCEPTUAL PROVISIONS REGARDING THE UTILIZATION OF WET BIOMASS WASTE

Kremnev V., Timoshchenko A., Belyaev G., Belyaeva I., Korbut N.,
Stetsuk V., Zhukov K.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ABSTRACT. *The paper is devoted to the study of the organization of processing of secondary biomass resources (agro-industrial waste, sewage sludge, fallen leaves, illiquid wood, etc.).*

KEYWORDS: BIOMASS, BIOFUEL, BIOFERTILIZER, RESOURCE-VALUABLE WASTE.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ВІДНОСНО УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВОЛОГОЇ БІОМАСИ

Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Корбут Н.С.,
Стецюк В.Г., Жуков К.Л.

Інститут технічної теплофізики НАН України

АНОТАЦІЯ. *Робота присвячена вивченню організації переробки вторинних ресурсів біомаси (відходів агропромислового комплексу, осадів стічних вод, опалого листя, неліквідної деревини тощо).*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОМАСА, БІОПАЛИВО, БІОДОБРИВО, РЕСУРСОЦІННІ ВІДХОДИ.

The purpose of the work. The report is programmatic and is based on a systematic approach to organizing such processing in the regions of Ukraine. Today, only a small part of secondary biomass resources (agro-industrial waste, sewage sludge, fallen leaves, illiquid wood, vegetable storage waste, food waste from trade and catering enterprises, etc.) is involved in industrial circulation. At the same time,

biomass waste can serve as a valuable raw material for the production of biofuels, biofertilizers and feed [1, 2, 3].

Results. The main reason for the low use of biomass waste as raw material is its high moisture content.

Per 1 ton of organic matter in their composition, there are several tons of water, which in this situation is ballast and also creates a favorable humid environment for biological processes of degradation of organic matter. Such degradation radically devalues the raw material. Without dehydration and granulation, transporting such raw materials over a distance of more than 5 km is not cost-effective, and long-term storage is impossible.

That is, dehydration of raw materials solves 2 problems: it eliminates ballast during transportation and stabilizes the biological state.

Problems of insufficient application of biofertilizers in crop production.

Ukraine ranks almost last in Europe in the use of biofertilizers in crop production. This is all the more regrettable if we take into account the country's dependence on imported natural gas, which is used in the production of synthetic fertilizers in two ways: as an energy source and as a raw material for ammonia synthesis.

Therefore, the production of synthetic fertilizers significantly exacerbates the problem of dependence on gas imports.

A situation has developed that is characterized by:

- a significant decrease in the total amount of resource-valuable waste - raw materials for the production of organic fertilizers due to the decline of livestock farming;
- their high concentration at single powerful livestock enterprises, which makes it impossible to use traditional extensive technologies for preparing organic fertilizers from them.

Conclusions. The authors of the report have significant practical experience in

processing secondary bioresources and propose to provide appropriate scientific and technical support for organizing a sustainable system in the territory of united territorial communities.

Based on research and development, the main conceptual provisions for the cost-effective production of biofertilizers and biofuels from waste have been proposed, which are presented in the report [4].

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. 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>

3. Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г., Тимощенко А.В. Лісівництво і енергетика – лісгосп як джерело паливних ресурсів// Збірник праць «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» К. : ІВЦ АЛКОН НАН, України, 2024. С. 172-175. І http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2025/01/sbornik_2024_pp.pdf

4. 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. 48-49.
<http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/10/zbirka-tez-povna.pdf>

УДК 621.928.9

WATER VAPOR AND PARTICULATE MATTER CAPTURE FROM THE GAS STREAM IN THE PACKED BED SCRUBBER

postgraduate Ivan Tisnyi, Ph.D., associate professor Andriy Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Annotation: *The basic design and working principle of new packed bed scrubber are described, as well as hypothesis of the innovative proposal.*

KEY WORDS: SCRUBBER, PACKING, PRESSURE DROP, VAPOUR, CAPTURE.

ВЛОВЛЮВАННЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ ТА ТВЕРДИХ ВКЛЮЧЕНЬ З ГАЗОВОГО ПОТОКУ В НАСАДКОВОМУ СКРУБЕРІ

аспірант Тісний І.С., к.т.н.. доцент Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Описано базову конструкцію запропонованого нового насадкового скрубера та суть гіпотези інноваційної пропозиції.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СКРУБЕР, НАСАДКА, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ПАРА, КОНДЕНСАЦІЯ.

Based on analysis of modern research directions for developing cost-effective and efficient wet scrubbers, three main directions for enhancing scrubber performance can be highlighted: use of CFD modeling for optimizing hydrodynamics and mass transfer, application of 3D printing technologies for developing innovative

packing structures, and implementation of advanced structured packings with improved properties [1].

A schematic diagram of new wet packed bed scrubber structure based on the analysis is provided (Figure 1). Main area for such scrubbers is fertilizer production (particularly ammonium sulfate and humates), where capturing water-soluble residues of these compounds from gas streams is critically important.

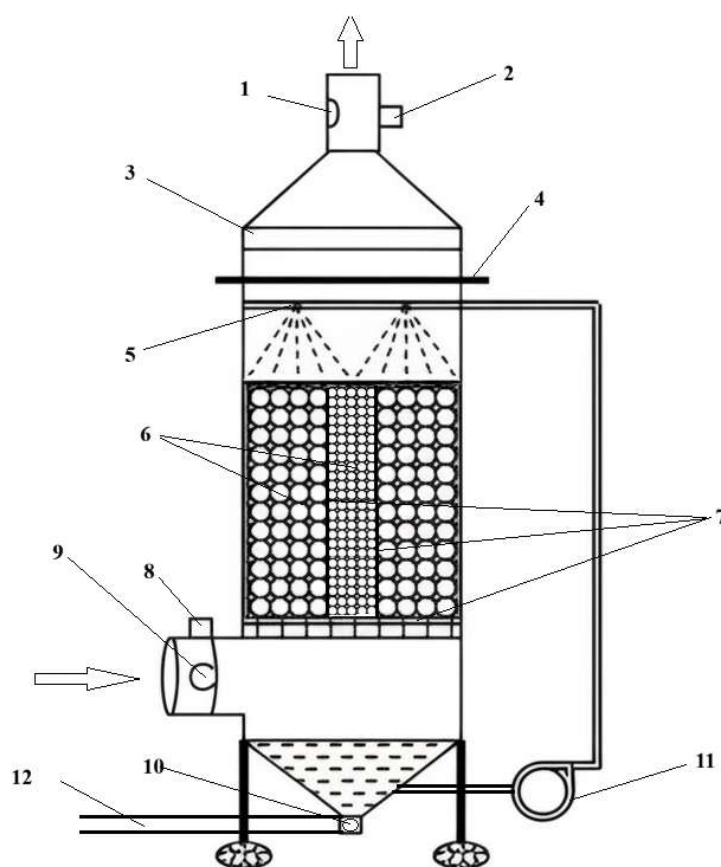


Figure 1. Proposed Packed Bed Scrubber

Основними елементами запропонованого насадковий скрубера є:

1, 9 – pollution measuring ports

2, 8 – pressure measuring ports

3 – mist eliminator

4 – flang

5 – liquid distributor

6 – unstructured packing with different diameter

7 – gas distributor and support screen

10 – valve and port for target substance concentration measurement

11 – pump for liquid re-usage

12 – transfer line to the granulator or mixer

Usage of unstructured (random) spherical packing of two different diameters (larger diameter along the sides of the filtration column and smaller diameter in the center) partially implements the concept of structured packing, but it is more cost-effective. Current approach increases hydraulic resistance at the column center which resulted in more uniform distribution of the gas flow across the plane of the column's cross section, thereby reducing the height of the 'dry cone' and expanding the phase contact area [2]. A cylindrical mesh (screen) inside the packing chamber separates packings of different diameters and facilitates easy unloading, washing, and loading of random packing when needed.

Need to admit, that together with contaminated air, water vapor also enters the scrubber chamber. This vapor will be condensed and used for additional irrigation of the packing layer.

Waste solution can be reused in the granulator to produce the next batch of fertilizer or as a liquid for dissolving raw materials.

In conclusion, proposed design is cost efficient and environmentally friendly and is also adapted to the specifics of the Ukrainian industry. It is expected to reduce

water consumption, enhance the efficiency of fertilizer residue capture with their subsequent reuse, and facilitate the washing of the packing layer.

REFERENCES:

1. Tisnyi, I. S., & Stepaniuk, A.R. ANALYSIS OF RESEARCH DIRECTIONS FOR WET EXHAUST GAS PURIFICATION SYSTEMS. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University*. Kremenchuk: KRNU, 2025, 3(152), 238–244. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.3.26> [in Ukrainian].
2. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 2. Практикум : навч. посіб. / Я. М. Корнієнко, А. Р. Степанюк, С. В. Гулієнко, С. С. Гайдай, О. О. Семінський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – с. 339 - 387

INNOVATIVE APPROACHES TO THE PRODUCTION OF MASTERBATCH SUPERCONCENTRATES OF COLORANTS FOR POLYMERS VIA EXTRUSION

Vitalii Denysiuk – PhD Student of the Department of Machines and Apparatus of Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine); e-mail: vitaliy.denysiuk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2027-4524>.

Mykola Shved – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", (Kyiv, Ukraine); e-mail: npchved46@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7725-1447>.

Dmytro Shved – PhD in Technical Sciences, Lead Engineer of the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", (Kyiv, Ukraine); e-mail: npchved46@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6860-3017>.

Introduction

Colorant superconcentrates (masterbatches) are highly concentrated mixtures of pigments or other functional additives dispersed in **a carrier polymer**, used to impart color or special properties to basic plastic materials. The production of these concentrates is traditionally carried out by the **extrusion method**, where the pigment is blended with the molten carrier (e.g., polyethylene or another polymer) and formed into pellets with a high colorant content. The use of masterbatches significantly simplifies the plastics coloring process: they ensure **better pigment dispersion, shade stability, and dosing convenience**, compared to adding powdered colorants directly into the extruder [4]. Furthermore, the use of granulated concentrates **enhances production safety and hygiene** by avoiding the dusting of fine-particulate pigments. Today, the colored superconcentrate manufacturing industry is rapidly evolving in response to market challenges: there is a growing demand for **environmentally sustainable colorants**, improved mixing homogeneity and coloration quality, as well as the creation of **multifunctional concentrates** (combining colorants with other additives). The following sections discuss the main current trends in the extrusion production of polymer superconcentrates: the shift towards **eco-friendly pigments and carriers**, the **optimization of mixing**

technology for enhanced dispersion, accounting for the influence of pigments on polymer properties, and the **implementation of innovative additives** within the concentrate formulation.

Raw Materials and Environmental Aspects in Masterbatch Production

Driven by the global trend towards sustainable development, masterbatch manufacturers are increasingly turning to **eco-friendly components** in both the pigment and polymer parts of the masterbatch. One key direction involves the use of **biodegradable and bio-based polymers** as a carrier, replacing traditional petrochemical resins. For instance, special color concentrates are being developed for bioplastics (PLA, PBS, etc.), where the carrier itself consists of the same biopolymers. This approach preserves the environmental advantage of the final product—the entire colored material remains compostable or biodegradable. Research has demonstrated the promise of this approach: a series of color masterbatches was recently created using natural pigments (spirulina, curcumin, betanin, chlorophyllin) within a PLA and PBS matrix. These concentrates were added to biopolymers in amounts ranging from **2–6%**, and it was established that this dosage **practically does not degrade the mechanical properties** of the PLA/PBS products compared to control materials. In other words, the introduction of natural pigments at a moderate concentration does not reduce the strength or impact toughness of the biopolymer, which is a significant finding for industrial implementation. Moreover, the same study showed that natural pigments have a lower carbon footprint, and the energy consumption during the extrusion and granulation of bio-colorants is lower than for their synthetic counterparts. Thus, the combination of a biopolymer carrier and a natural colorant makes it possible to obtain a **fully biodegradable colored plastic**, which is highly relevant for packaging and single-use products [2].

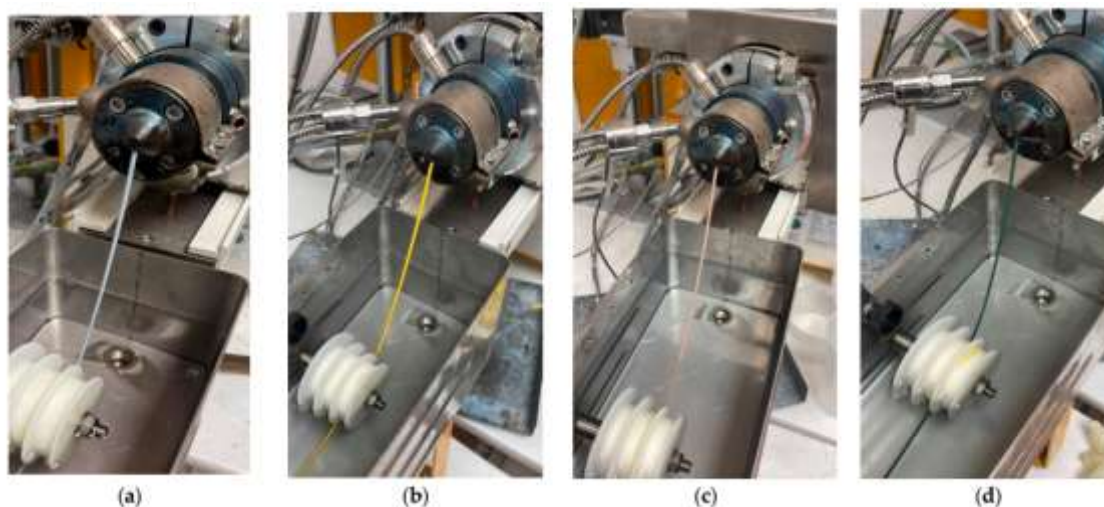


Figure 1 – The extrusion process of superconcentrates based on natural pigments in a PBS matrix using: (a) spirulina, (b) curcumin, (c) betanin, and (d) chlorophyllin.

Another ecological trend is the incorporation of recycled polymers as carriers in masterbatch production. Some manufacturers already offer concentrates where the base polymer is partially or entirely composed of recycled materials (e.g., recycled polyethylene). This increases the overall content of secondary raw materials in the final product and promotes the circular economy. The use of a recycled carrier, however, requires meticulous quality control—impurities or degraded fragments can affect color stability and the extrusion process. However, provided the recyclate is purified and uniform, twin-screw mixing technology allows for the production of a high-quality concentrate based on it. Overall, the sectoral focus is shifting towards "green" masterbatches: increasing attention is being paid to the development of colorants compatible with bioplastics, the use of natural pigments instead of heavy metals (cadmium and lead pigments are almost entirely phased out by regulations), and the creation of concentrates for recycled plastics. For example, black concentrates using carbon filler from tire waste have already appeared on the market, as well as pigment mixtures that do not impede subsequent recycling (NIR-detected colorants to facilitate sorting). These innovations are driven by both regulatory requirements and consumer demand for more ecological colored plastics.

Optimization of the Extrusion Process and Pigment Dispersion

The quality of a **color concentrate** is primarily determined by the **degree of pigment dispersion** within the polymer carrier. Therefore, contemporary research is focused on refining the extrusion mixing process to achieve the highest possible

homogeneity. One of the key parameters is the configuration and operating mode of the twin-screw extruder, which is typically utilized for masterbatch production. By selecting the optimal screw geometry (alternating mixing, kneading, and barrier elements), rotation speed, and temperature profile, technologists can significantly improve the quality of pigment distribution. The study by Safraoui et al. investigated the influence of various twin-screw configurations, rotational speeds, and temperature zones on the dispersion of a 40% color concentrate. The results showed that changing the screw design and extrusion parameters measurably affects the degree of pigment dispersion: the optimal variant provided the highest coloring power (colorimetric saturation) and minimum residual pressure during the melt filtration test. This indicates that, under this operating mode, the pigment was distributed in the finest possible manner, without large agglomerates that could clog the filter. Thus, the correct selection of twin-screw mixing parameters is critically important: modern masterbatch production lines are equipped with flexible systems that allow the screw assemblies and modes to be configured for a specific type of pigment and desired concentration [3].

Config	element	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	length(mm)	240	28	84	40	28	40	28	84	80	40	28	112	80	56	28
	type	45°/5/40	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28	28/28	90°/5/40	45°/5/40	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28
2	length(mm)	40	28	40	28	196	224	28	56	80	28	28	56	80	56	28
	type	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28	28/28	45°/5/56	45°/5/28	28/28	90°/5/40	60°/4/28	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28
3	length(mm)	40	28	40	28	196	80	28	28	56	80	56	28	56	224	28
	type	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28	28/28	90°/5/40	60°/4/28	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28	28/28	45°/5/56	45°/5/28
4	length(mm)	224	28	112	40	28	40	28	84	80	28	28	112	80	56	28
	type	45°/5/56	45°/5/28L	28/28	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28L	28/28	90°/5/40	60°/4/28	45°/5/28L	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28L
5	length(mm)	240	28	84	40	28	40	28	84	80	40	28	112	80	56	28
	type	45°/5/40	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28	28/28	90°/5/40	45°/5/40	45°/5/28	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28
6	length(mm)	224	56	84	40	28	40	28	84	80	28	28	112	80	56	28
	type	45°/5/56	45°/5/56	28/28	45°/5/40	60°/4/28	90°/5/40	45°/5/28L	28/28	90°/5/40	60°/4/28	45°/5/28L	28/28	45°/5/40	60°/4/28	45°/5/28L

Figure 2 – List of screw configurations used in the study to select the optimal mixing parameters.

In addition to equipment factors, the **composition of the mixture** also influences dispersion quality—specifically, the presence of dispersing additives, pigment wetting agents, waxes, and so forth. Recent research focuses on the selection of auxiliary agents that facilitate the wetting of pigment particles by the polymer and reduce inter-particle interaction (as the tendency of pigments towards agglomeration is a significant problem). For polyolefin concentrates, effective additives include, for example, paraffin waxes or stearates: they act as lubricants, reducing the melt viscosity and improving the polymer's penetration into pigment clusters. The study by Yüçetürk et al. is dedicated to the systematic investigation of the influence of various

factors—temperature, extrusion speed, and additives (lubricants)—on pigment dispersion in a bio-polyethylene masterbatch. It was found that the optimization of these parameters allows for a substantial increase in color homogeneity. Specifically, the introduction of a small amount of wax into the composition reduces the agglomeration of a hard-to-disperse pigment (copper phthalocyanine blue) and facilitates the achievement of a more saturated and stable shade at a lower pigment dosage [1]. Therefore, the **comprehensive optimization of the process**—from the formulation to the extrusion modes—is currently a priority task for superconcentrate manufacturers aiming to ensure the most intensive and uniform coloration of products without defects (streaks, spots) and with minimal pigment consumption.

Influence of Pigments on Polymer Properties

Modern trends in the production of color concentrates take into account not only the mixing process itself but also the subsequent influence of the concentrate on the base polymer and the final product. Pigments are chemically and thermally stable solid particles, and their presence, even in small amounts, can alter the behavior of the polymer during processing and service. Specifically, it is well known that certain pigments in semi-crystalline polymers act as nucleating agents, accelerating crystallization and reducing the crystallite size. This can lead to changes in the shrinkage of molded or extruded parts and even to some increase in the material's stiffness. A recent study by Ullah et al. detailed the analysis of the impact of various commercial pigment masterbatches (red, white, magenta) on the crystallization and shrinkage of isotactic polypropylene (iPP). It was found that organic red and magenta pigments (based on quinacridone and dioxazine) significantly increase the onset crystallization temperature of PP and the nucleation rate, acting as strong nucleators. In samples containing these pigments, the formation of a smaller spherulitic layer of the polymer was observed, which correspondingly reduced the shrinkage of the products upon cooling. Some pigments (pyrrole reds) even induced the formation of the β -form of the polypropylene crystalline phase, which affects the material's impact toughness. In contrast, inorganic white pigments (titanium dioxide, etc.) had a significantly lower structural impact—they barely changed the crystallization temperature or the shrinkage characteristics of PP. These results confirm that the **chemical nature of the pigment substantially influences the polymer matrix**, and this must be considered when developing new concentrates [4].

From a practical perspective, such an influence of pigments can be both undesirable and beneficial. It is undesirable in the case of non-uniform shrinkage and deformation of parts of different colors (it is known that components with different

pigments may vary in size due to differences in shrinkage). Therefore, in the production of precision products, these nuances are currently taken into account: DSC testing is performed on pigmented materials to predict their shrinkage based on the crystallization temperature. On the other hand, accelerated crystallization induced by the pigment can increase the productivity of the molding process (faster solidification in the mold) and improve mechanical properties due to a finer structure. Some modern masterbatches deliberately contain **special nucleating additives** (including those of a pigment nature) to enhance the characteristics of the base polymer. Thus, concentrate manufacturers are now focusing on investigating the "side" effects of colorants: efforts are underway to select pigments that have a minimal impact on rheology and shrinkage (for critical applications), or, conversely, multifunctional pigments are being introduced that simultaneously color and modify the polymer (UV stabilization, acceleration of crystallization, etc.). This integrated approach to color and material properties is a characteristic feature of modern trends in this field.

New Types of Superconcentrates and Functional Additives

Beyond coloring, modern masterbatches increasingly carry **additional functions**—a trend toward creating multi-component concentrates. For instance, a color concentrate may simultaneously contain UV stabilizers, flame retardants (antipyrenes), antistatic agents, or biocides. This offers convenience for processors: instead of dosing several additives, it is sufficient to introduce a single complex masterbatch that provides both color and the required functional properties. Technologically, the manufacturing of such mixtures requires the compatibility of all components and an optimal extrusion process (to ensure, for example, that the flame retardant does not degrade when mixed with the pigment). Nevertheless, successful examples exist: for instance, black concentrates containing a combination of carbon black and antioxidants are produced for pipe stabilization, as are colored antibacterial masterbatches for food packaging (containing pigment + nanosilver).

A recent innovation has been the use of **hybrid fillers in concentrates**, where the pigment is anchored onto nanoparticles, forming a functional complex. For example, researchers from Lodz University of Technology proposed modifying layered double hydroxides (LDHs, a type of clay nanofiller) with organic pigments—phthalocyanine green and quinacridone red. The resulting pigmented nanofillers were introduced into the composition of a polypropylene masterbatch instead of traditional pigments. It was found that these modified LDHs not only impart color but also improve the **thermal stability** of the concentrate: the onset degradation temperature

of the polymer is shifted to a higher value. The relaxation and rheological characteristics of the melt also improve—the nanolayered particles contribute to more efficient stress dissipation in the melt, which is important for uniform extrusion. This approach opens the way for creating highly filled concentrates with enhanced characteristics: pigmented nanofillers allow for the introduction of a larger amount of colorant without the risk of agglomeration, while simultaneously acting as a reinforcer or stabilizer. Other promising developments in this area include masterbatches utilizing **new types of pigments**, particularly those based on recycled materials (e.g., carbon black from biomass or pigments from secondary metals), and **special concentrates designed to improve processing** (with lubricants that facilitate the molding and extrusion of colored plastics) [5].

Conclusions

The contemporary production of polymer colorant superconcentrates by the extrusion method is characterized by the combination of traditional knowledge about mixing with modern demands for quality and sustainability. The industry is confidently moving toward **ecologization**: the use of biopolymer carriers and natural pigments makes it possible to create environmentally safer colored plastics without sacrificing coloration quality. In parallel, the challenge of **improving dispersion** is being addressed: through the optimization of twin-screw technologies, the application of effective dispersants, and meticulous process fine-tuning, a uniform distribution of even hard-to-mix pigments is achieved. Increasing attention is being paid to the influence of concentrates on the final material: the nucleating effect of pigments and their contribution to polymer crystallization and shrinkage are taken into account to guarantee the dimensional stability and properties of the final products. Finally, modern trends include the development of **multifunctional masterbatches** which, in addition to color, provide the product with additional benefits (UV protection, antimicrobial activity, flame retardancy), as well as the implementation of innovative fillers and pigment systems (e.g., pigments on nanostructures) to achieve higher indicators of stability and efficiency. Thus, the production of polymer superconcentrates is confidently responding to the challenges of the time, combining **sustainable materials, high mixing technologies, and expanded functionality**, ultimately providing the plastics industry with high-quality and safe coloring solutions.

References:

1. Yücetürk M., Seydibeyoğlu M.Ö. Bio-based polyethylene masterbatch preparation and investigation of the effect of process conditions on pigment dispersion. *Coloration Technology*, 140(3), 375–385 (2024).

2. Vidal R., Martínez-García A. Sustainability in the Development of Natural Pigment-Based Colour Masterbatches and Their Application in Biopolymers. *Polymers*, 16(15), 2116 (2024).
3. Safraoui L., Benhadou B., Haddout A. et al. Influence of twin screw configuration on the dispersion quality of the high concentration colored-masterbatch. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(4), 266–276 (2017).
4. Ullah J., Harkin-Jones E., McIlhagger A. et al. The effect of masterbatch pigments on the crystallisation, morphology, and shrinkage behaviour of isotactic polypropylene. *Journal of Polymer Research*, 29, 183 (2022).
5. Kozłowska M., Lipińska M., Okraska M., Pietrasik J. Polypropylene color masterbatches containing layered double hydroxide modified with quinacridone and phthalocyanine pigments – Rheological, thermal and application properties. *Materials (Basel)*, 16(18), 6243 (2023).

УДК 661.9

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВІДНОВЛЕННЯ АЦЕТИЛЕНУ З РОЗРОБКОЮ ХОЛОДИЛЬНИКА

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

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: розглянуто технологію відновлення ацетилену з C_2 - фракцій парового крекінгу на основі промислової схеми Linde AG, що включає стадії селективної абсорбції в DMF, десорбції етилену та десорбції ацетилену. Модернізований холодильник дозволяє підвищити продуктивність блоку відновлення ацетилену та зменшити навантаження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЦЕТИЛЕН; МОДЕРНІЗАЦІЯ; ХОЛОДИЛЬНИК; ТЕПЛООБМІН; КОНДЕНСАЦІЯ; ВІДНОВЛЕННЯ АЦЕТИЛЕНУ.

Abstract: the technology for recovering acetylene from C_2 fractions of steam cracking based on the industrial scheme of Linde AG, which includes stages of selective absorption in DMF, ethylene desorption, and acetylene desorption, is considered. The modernized refrigerator allows to increase the productivity of the acetylene recovery unit and reduce the load.

KEY WORDS: ACETYLENE; MODERNIZATION; REFRIGERATOR; HEAT EXCHANGE; CONDENSATION; ACETYLENE RECOVERY.

Ацетилен (C_2H_2) – це ненасичений вуглеводень класу алкінів, безбарвний газ із характерним запахом. Він є термічно нестабільним, легко полімеризується та здатний вибухово розкладатися під тиском. Водночас цей газ має одну з найвищих температур згоряння в суміші з киснем, що робить його надзвичайно цінним у технічних процесах [1].

Основна сфера застосування – газополум'яне зварювання і різання металів, де ацетилен забезпечує полум'я з температурою понад 3000 °С [2]. У хімічній промисловості його використовують як вихідну сировину для синтезу широкого спектра органічних сполук: вінілхлориду, акрилонітрилу, ацетальдегіду, різних вінілових та ацетиленових похідних. Також ацетилен застосовують у виробництві розчинників, пластифікаторів і в процесах карбюризації металів.

Найпоширеніший класичний метод отримання ацетилену – гідроліз кальцій карбіду, що забезпечує високу чистоту продукту, але супроводжується значним енергоспоживанням та проблемами утилізації вапняного шламу.

Опис технологічного процесу

Установка призначена для вилучення ацетилену, який утворюється як побічний продукт під час парового крекінгу у виробництві етилену. Незважаючи на невеликі концентрації ацетилену в C₂-фракції, через великі об'єми газу його сумарний вихід значний. Схема Linde AG (рисунок 1) є однією з найбільш ефективних, що включає три основні стадії: абсорбцію ацетилену, десорбцію етилену та десорбцію ацетилену [3].

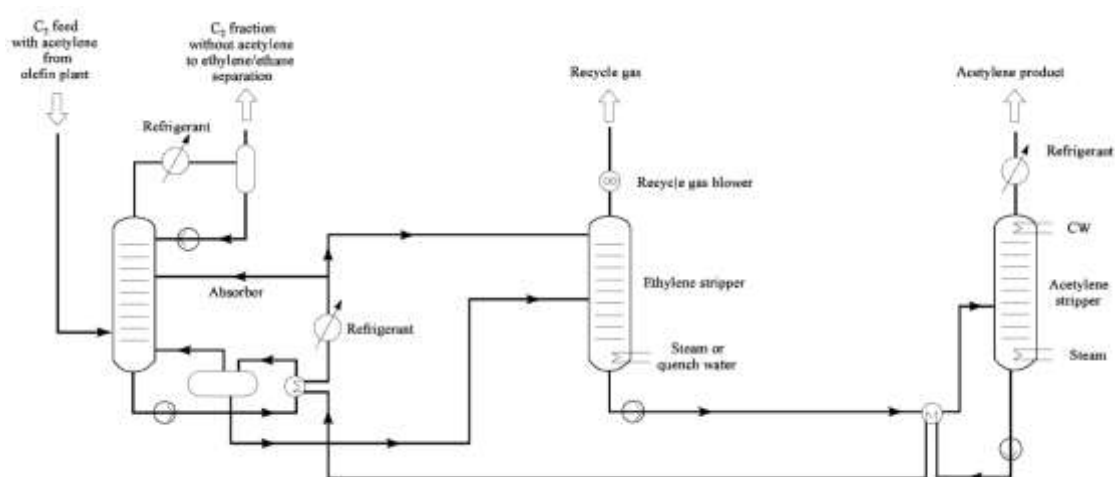


Рисунок 1 – Схема Linde AG виготовлення ацетилену

На першому етапі C_2 -фракція подається до абсорбера, де контактує з холодним селективним розчинником (переважно DMF). Процес ведуть при тиску 0,6-3 МПа. Верхній газовий потік частково конденсують, що зменшує втрати розчинника та забезпечує концентрацію ацетилену $<0,2$ ppm. Очищений газ повертається в систему поділу етилену й етану, а збагачений розчинник надходить далі.

На другому етапі розчинник подають у колону десорбції етилену, де при зниженому тиску й тепловому підводі видаляють залишковий етилен та легкі вуглеводні. Газовий потік повертають на компресію, а частину «худого» розчинника рециклують назад у абсорбер для підвищення селективності.

На заключній стадії збагачений ацетиленом розчинник потрапляє в колону десорбції ацетилену. Тут ацетилен відганяють теплом знизу, а у верхній частині колони встановлений холодильник, що конденсує пари розчинника та стабілізує тепловий режим. У верхньому продукті отримують ацетилен чистотою понад 99,9%, тоді як «худий» DMF повертається в абсорбер через теплообмінники, формуючи замкнений цикл.

Модернізований холодильник стабілізує теплові режими верхньої частини ацетиленового стрипера, зменшуючи перегрів і коливання тиску. Підвищена ефективність конденсації зменшує втрати DMF/NMP та покращує чистоту продукту. Завдяки стабільнішому охолодженню зменшується ризик термічного розкладу ацетилену, що підвищує безпеку. Менше домішок у газі знижує навантаження на подальші вузли очищення.

Перелік посилань:

1. Сучасні методи органічного синтезу: підручник / О. О. Григоренко, О. В. Шабликіна. — 2-ге вид. — Київ : Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2021. — 560 с.
2. Perry R.H., Green D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook / R.H.Perry, D.W.Green (ed.). – [8th ed.]. – McGraw-Hill, 2007. – 2640 p.

3. 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.

УДК 66.094.5

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГРІВАЧА ВИРОБНИЦТВА ФОРМАЛІНУ ОКИСНЕННЯМ МЕТИЛОВОГО СПИРТ

студентка Матвійчук В. С., асистент Подиман Г. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі наведено схема отримання формаліну за участі теплообмінника-підігрівача окислювальним дегідруванням метилового спирту на срібному каталізаторі.*

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

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

student Matviychuk V. S., assistant Podyman H. S.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ABSTRACT: *This work presents a scheme for producing formalin using a heat exchanger-heater in an oxidative dehydrogenation of methyl alcohol over a silver catalyst.*

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

Сучасне хімічне виробництво є складною багаторівневою системою, де ефективність та безпека процесів безпосередньо залежать від надійності та продуктивності обладнання. Серед останнього ключову роль відіграють теплообмінні апарати. Ці пристрої є головними у багатьох технологічних операціях: нагрівання, охолодження, конденсації, випаровування та ректифікації. Без їхньої участі неможливим було б забезпечити оптимальні температурні умови для перебігу хімічних реакцій, відділення продуктів та

економії енергоресурсів. Таким чином, теплообмінники не просто є «місцями» у виробничому ланцюжку, а фундаментальними елементами, що визначають інтенсифікацію та рентабельність хімічної технології.

Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник є основним типом апаратів для теплообміну в хімічній промисловості. Його конструкція (рисунок 1) складається з зовнішнього циліндричного корпусу – кожуха 1, всередині якого розміщені труби 3, закріплені у трубних решітках 2. З обох кінців апарат закривається розподільчими камерами 6 з патрубками для підведення та відведення теплоносіїв. Для підвищення ефективності теплообміну в міжтрубному просторі встановлюються сегментні перегородки 7, які збільшують турбулентність потоку та час перебування теплоносія в апараті.

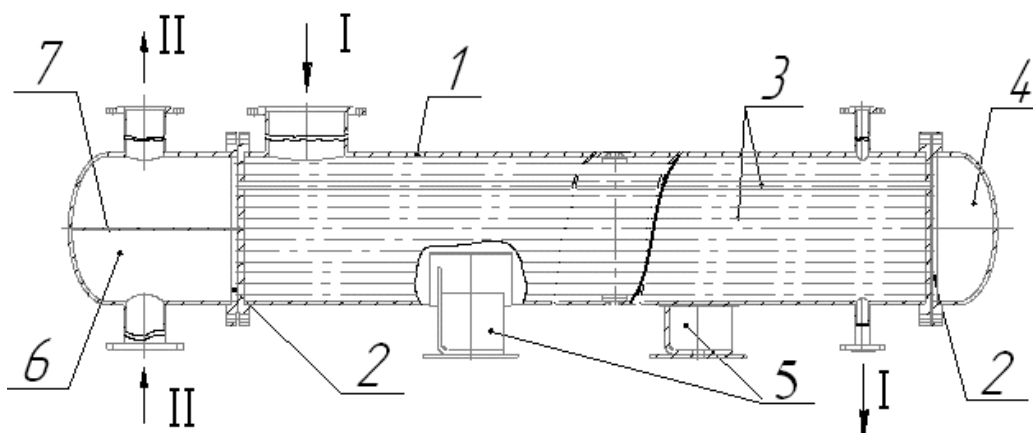
Принцип роботи полягає в тому, що один теплоносієй рухається по трубах, а інший - по міжтрубному просторі, при цьому теплообмін відбувається через стінки труб.

У виробництві формаліну такі теплообмінники використовуються як конденсатори-холодильники для охолодження та конденсації парів формальдегіду після реактора синтезу, а також для підігріву сировинних потоків.

До основних переваг цього типу теплообмінників відносяться висока ефективність, надійність конструкції, зручність у обслуговуванні та можливість роботи при високих тисках, що особливо важливо в процесах одержання формаліну.

Яскравим прикладом продукту, отримання якого неможливе без застосування теплообмінних апаратів, є формалін – водний розчин формальдегіду. Ця речовина є однією з найважливіших у світовій хімічній промисловості. Формальдегід (мурашиний альдегід) HCHO – безбарвний газ з різким специфічним запахом, гарно розчиняється у воді. Однак формальдегід є токсичною речовиною, що подразнює слизові оболонки та шкіру, тому при

роботі з ним потрібні засоби індивідуального захисту. Формальдегід, що міститься у формаліні, виступає сировиною для виробництва пластмас (наприклад, фенолформальдегідних смол), лікарських засобів, барвників, емульгаторів та як потужний дезінфікуючий засіб. Технологія його синтезу передбачає окиснення метанолу, а подальше охолодження та конденсація парів реакційної суміші вимагають інтенсивного та точного теплообміну.



1 – кожух, 2 – трубні решітки, 3 – труби, 4 – кришка, 5 – опори, 6 – розподільвальна камера, 7 – перегородка

Рисунок 1 – Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник

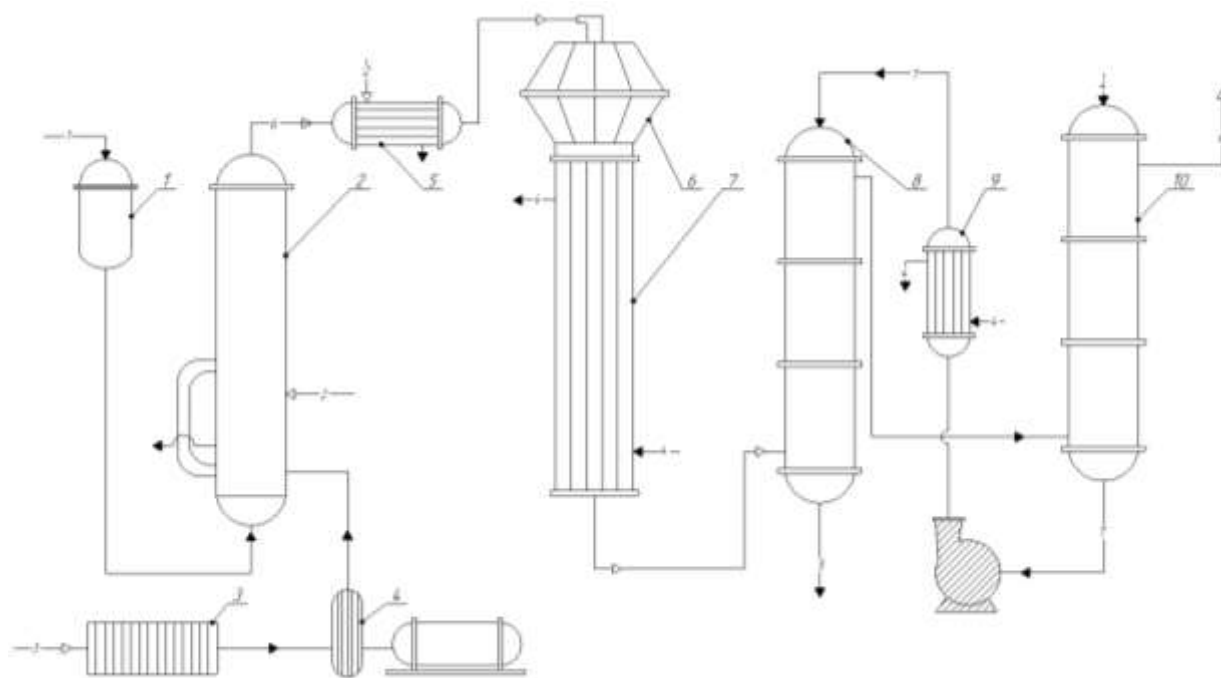
Процес отримання формаліну окислювальним дегідруванням метилового спирту на срібному каталізаторі є одним із найпоширеніших промислових методів виробництва цього важливого хімічного продукту. Формалін використовується у хімічній, фармацевтичній, деревообробній промисловості, а також у виробництві полімерів і смол. Ефективність та стабільність процесу значною мірою залежать від правильного підбору технологічного обладнання та підтримання оптимальних режимних параметрів [1, 2].

На рисунку 2 показано схему отримання формаліну окислювальним дегідруванням метилового спирту на срібному каталізаторі. Метилловий спирт через мірник 1 подають у випарник 2, що обігрівається глухою парою або гарячою водою. Одночасно через випарник пропускають очищене від пилу та

інших домішок повітря, що нагнітається повітродувкою 4. Барботуючи через шар спирту, нагрітого до 45-50°C, повітря насичується його парами до вмісту приблизно 0,5 г CH_3OH в 1 дм^3 паро-повітряної суміші, що значно перевищує верхній.

Дуже важливо підтримувати постійний склад паро-повітряної суміші, так як при підвищеному вмісті парів спирту побічні реакції протікають інтенсивніше, а при зниженому вмісті спирту може утворитися вибухонебезпечна суміш.

Навіть при незначних коливаннях складу паро-повітрясуміші порушується нормальний перебіг процесу, тому систему забезпечують автоматичними регуляторами рівня спирту у випарнику, температури повітря та спирту, тиску в системі.



1 – мірник; 2 – випарник; 3 – фільтр; 4 – повітродувка; 5,7,9 – теплообмінник; 6 – контактний апарат, 8,10 - абсорбер

Рисунок 2 – Схема виробництва формаліну окисненням метилового спирту

Щоб уникнути конденсації парів спирту з паро-повітряної суміші її підігрівають в апараті 5 глухою парою до 110°C і при цій температурі подають в контактний апарат 6. При процесі окислення, що встановився, протікає аутотермічно. Температурний режим в контактному апараті регулюють, змінюючи температуру і кількість паро-газової суміші, що подається. У період пуску системи для ініціювання реакції використовують платино-азбестовий контактний запал (запропонований Е. І. Орловим), що встановлюється на вході газу шар каталізатора, або електрозапал.

Продукти реакції, що виходять із контактного апарату, охолоджують у холодильнику 7 до $100-130^{\circ}\text{C}$. Охолодження до нижчої температури небажано, тому що при цьому можливі полімеризація формальдегіду та забивання трубопроводів полімерами.

Далі в абсорберах 8 і 10 контактних газів поглинається формальдегід. Абсорбер 10 зрошується водою, абсорбер 8 розбавленим розчином формальдегіду, що надходить з абсорбера 10. Для відведення тепла абсорбції встановлюють проміжний холодильник. З абсорбера 8 витікає формалін. Вихід формальдегіду близько 90% [3].

Одним із ключових апаратів у даній технологічній схемі є теплообмінник-підігрівач, який забезпечує попереднє нагрівання реагентної суміші метанолу та повітря перед подачею до реактора. Його робота гарантує досягнення необхідної температури для ініціації реакції окислювального дегідрування на срібному каталізаторі. Окрім того, теплообмінник сприяє раціональному використанню енергії завдяки рекуперації тепла відхідних газів, що підвищує енергоефективність усього виробництва.

Правильне проектування та експлуатація теплообмінника-підігрівача дозволяють забезпечити стабільність температурного режиму, рівномірність потоку реагентів, зниження енергетичних витрат і підвищення ресурсу роботи каталізатора. Тому цей апарат відіграє важливу роль не лише в підготовці

сировини, а й у загальній ефективності та безпечності процесу виробництва формаліну.

Використані джерела:

1. Формалін : продукція / Alhim. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://alhim.com.ua/uk/produksiia/khimichna-produksiia/formalin> (дата звернення: 14.10.2025)
2. Формалін (формалдегід, SH_2O) / Klebrig. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://klebrig.com.ua/ua/g105944571-formalin-formaldegid-sh2o?srsId=AfmBOoru0ca6r3QgiQJRy52kkoubNUEXnOCBPlPtpwqlDQ_jd8zhB-a_ (дата звернення: 14.10.2025)
3. Юкельсон І. І. Технология основного органического синтеза / І. І. Юкельсон. — М. : Химия, 1968. — 848 с.

УДК 663.5

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ З ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

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

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі наведено дослідження процесу ректифікації спирту. Обґрунтовано вибір ректифікаційної колони. Розглянуто актуальність і доцільність виготовлення висококонцентрованого спирту.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СПИРТ, ЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЯ, ЕПЮРАЦІЙНА КОЛОНА, СПИРТОВА КОЛОНА.

Етанол широко застосовується в промисловості, медицині та побуті. Його використовують як паливо (біоетанол), розчинник, антисептик і сировину для виробництва хімічних речовин. Також етанол має велике значення у фармакологічній та харчовій промисловості, зокрема при виготовленні лікарських засобів і алкогольних напоїв.

Існує 2 способи отримання етилового спирту: мікробіологічний за рахунок процесу бродіння та синтетичний за рахунок гідратації етилена.

Для виробництва харчового спирту використовується ферментація – біохімічна переробка органічних речовин за допомогою ферментів або мікроорганізмів. У спиртовому бродінні такими мікроорганізмами виступають дріжджі. Вони розкладають цукри, такі як глюкоза і фруктоза з утворенням етилового спирту та вуглекислого газу. У разі використання методу гідратації етилену виділяються домішки, що роблять непридатним спирт для вживання.

Для очищення спирту від води та інших домішок у бражці використовують ректифікацію – процес багаторазового випаровування суміші з масо- і теплообміном.

Схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 1

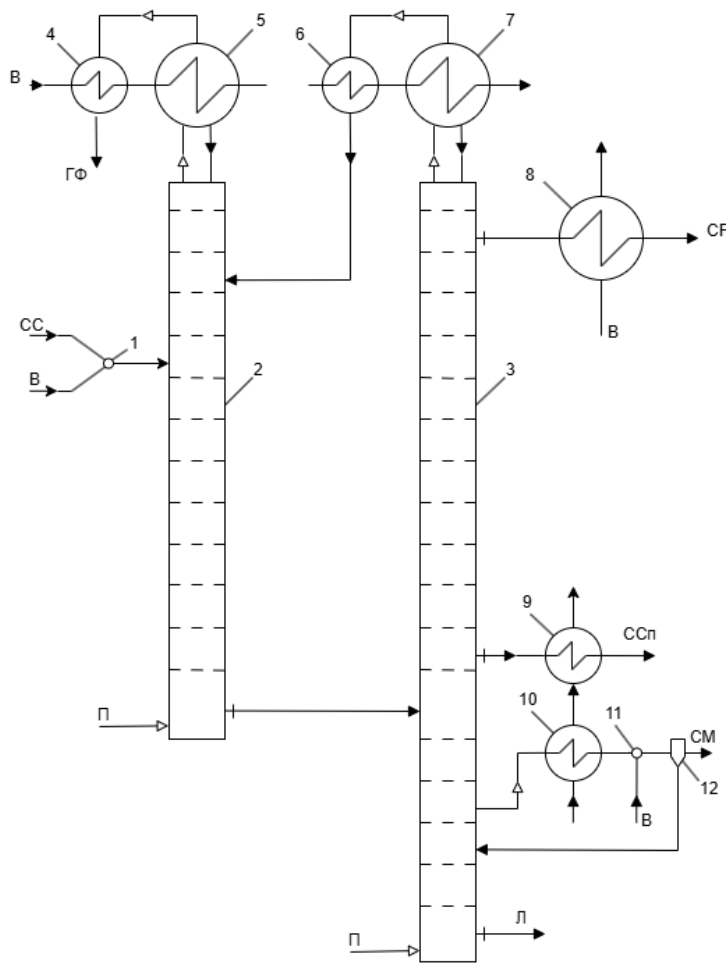


Рисунок 1 Схема двоколонної установки безперервної дії для ректифікації спирту-сирцю:

1 — змішувач; 2 — епюраційна колона; 3 — спиртова колона; 4 — конденсатор епюраційної колони; 5 — дефлегматор епюраційної колони; 6 — конденсатор спиртової колони; 7 — дефлегматор спиртової колони; 8 — холодильник ректифікованого спирту; 9 — холодильник сивушного спирту; 10 — холодильник сивушної фракції; 11 — змішувач сивушної фракції та води; 12 — екстрактор сивушної олії.

Спирт-сирець(CC), попередньо змішаний з водою(B) через змішувач 1 подається до епюраційної колони 2 де з нього за допомогою пари(П) вилучається головна фракція що відводиться у дефлегматор 5 і конденсатор 4 епюраційної колони. Спирт-сирець, звільнений від головної фракції(ГФ) подається у спиртову колону де концентрується до необхідної концентрації а також позбавляється кінцевих домішок. Сивушна фракція збирається з тарілок до холодильників 9 та 10, де відводиться як сивушний спирт(ССп) або піддається повторній переробці для вилучення етилового спирту в екстракторі 12 завдяки змішувачу 11. З низу спиртової колони відводиться лютерна вода (Л). Пара, а також залишки головних та кінцевих домішків у спиртовій колоні відводяться через дефлегматор 7 та конденсатор 6, де деяка частина з них повертається на верх епюраційної колони 2 у вигляді зрошення. Ректифікований спирт(СР) відбирають з верхніх тарілок спиртової колони у холодильник 8. [1]

Ректифікація якісного харчового спирту є ключовим для виробництва високоалкогольних напоїв. Від ефективності цього процесу залежить якість кінцевого продукту, економічні показники виробництва та екологічна безпечність підприємства. Саме тому дослідження та оптимізація процесу ректифікації є актуальним на сьогоднішній день.

Завдання на дипломне проектування – пошук сучасних конструкцій та інноваційних рішень для модернізації устаткування та підвищення якості продукту та продуктивності ректифікаційної колони.

Використані джерела:

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

УДК 664.8.047

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БАНАНІВ ДО НИЗЬКОЇ ЗАЛИШКОВОЇ ВОЛОГОСТІ

Снежкін Ю.Ф.¹, академік НАН України, Дабіжа Н.О.¹, канд. техн. наук.,

Гусарова О.В.^{1,2}, канд. техн. наук, Малащук Н.С.¹, PhD

¹ Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

² Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: У роботі досліджено процес сушіння бананів до низької залишкової вологості 6...7 % за різних режимів зневоднення та форми матеріалу. Рекомендовано з метою прискорення процесу вибирати недозрілі банани зі ступенями зрілості 2 та 3. Дослідженні гігротермічний рівноважний стан (статика) та кінетика сушіння банану. Одержана залежність для визначення загальної тривалості процесу сушіння. Визначені залежності критерію оптимізації процесу сушіння та густини теплового потоку від вологовмісту банана. За даними щодо питомих витрат теплоти на випаровування 1 кг води запропонований ступеневий режим сушіння банану за температур 100/60 °C як найбільш енергоефективний.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БАНАН, СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ, СТУПЕНЕВІ РЕЖИМИ ЗНЕВОДНЕННЯ, КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ, ПИТОМІ ВИТРАТИ ТЕПЛОТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

FEATURES OF THE PROCESS OF DRYING BANANAS TO LOW RESIDUAL MOISTURE CONTENT

Sniezhkin Yu. ¹, Dabizha N. ¹, Husarova O. ^{1,2}, Malashchuk N. ¹

¹ Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

² National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *The work investigates the process of drying bananas to a low residual moisture content of 6...7% under different dehydration modes and material forms. To speed up the drying process, it is recommended to select unripe bananas with ripeness levels 2 and 3. The hygrothermal equilibrium condition (statics) and kinetics of banana drying were studied. The obtained dependence for determining the total duration of the drying process. The dependencies of the drying process optimization criterion and heat flux density on banana moisture content have been determined. Based on data on the specific heat consumption for evaporating 1 kg of water, a two-stage banana drying mode at temperatures of 100/60 °C was proposed as the most energy-efficient.*

KEY WORDS: BANANA, SORPTION PROPERTIES, CONVECTIVE DRYING, STAGED DEHYDRATION MODES, OPTIMISATION CRITERION, SPECIFIC HEAT CONSUMPTION, ENERGY EFFICIENCY.

Вступ.

Банани є найважливішою сільськогосподарською культурою після рису та пшениці. Щорічно п'ята частина бананів викидається через неналежний

зовнішній вигляд, через що вони не підлягають продажу. Тому актуальним є пошук способів збереження та перероблення надлишкової сировини на продукти харчування з підвищеним терміном зберігання.

Метою роботи є дослідження статичної та кінетики конвективного сушіння м'якоті бананів до низької залишкової вологості, визначення енергетичних характеристик процесу та розроблення енергоефективного режиму зневоднення.

Методи дослідження.

Для дослідження були відібрані банани зі ступенем стиглості 2...3 та початковою відносною вологістю 75...80%. Банани були нарізані кубиками розміром 5×5×5 мм та скибочками товщиною 5...6 мм і довжиною 65...75 мм. Процес проводився до досягнення матеріалом низької вологості 6...7%.

Дослідження гігротермічного рівноважного стану банану проводилися з застосуванням тензометричного (статичного) методу Ван Бамелена.

Дослідження кінетики процесу зневоднення бананів з метою вивчення основних закономірностей тепломасоперенесення проводили на експериментальному сушильному стенді при температурі сушильного агента 100, 80, 60, 100/60 °C, швидкості 1,0 м/с, вологості 11 г/кг сухого повітря.

За експериментальними даними будували криві кінетики сушіння $u = f(\tau)$, криві швидкості сушіння $du/d\tau = f(u)$, що отримані шляхом чисельного диференціювання кривих сушіння, а також температурні криві нагрівання матеріалу $t = f(\tau)$.

Результати та висновки [1].

За аналізом банану як об'єкту сушіння рекомендовано при виробництві чипсів вибирати недозрілі плоди зі ступенями зрілості 2 та 3 для прискорення процесу зневоднення.

За результатами експериментальних досліджень з гігротермічної рівноваги (статичної) за температури 20 °C в діапазоні відносних тисків p/p_s від

0.4 до 0.9 методом характеристичних кривих одержанні ізотерми сорбції пари води бананом за температур від 20 до 80 °С, що дозволяє визначити рівноважний вологовміст, який досягається при заданих тепловологісних параметрах повітря.

На підставі ізотерм сорбції для гігроскопічної області одержана залежність парціального тиску водяної пари на поверхні банану від вологовмісту і температури в діапазоні $u = 0.03...1.11$ кг/кг с.м. і $t = 50...80$ °С.

Експериментально досліджений вплив температури на кінетику процесу сушіння кубиків банану в шарі. Встановлено, що температура сушильного агента 100 °С інтенсифікує процес зневоднення банана, але органолептичні показники матеріалу незадовільні.

На підставі досліджень кінетики вологообміну сушіння кубиків банану отримано формулу для розрахунку загальної тривалості процесу.

Одержані залежності критерію оптимізації та густини теплових потоків на поверхні матеріалу від вологовмісту банану в процесі сушіння за різних температур. За аналізом одержаних залежностей обґрунтована необхідність зниження температури на завершальній стадії та доведена доцільність використання ступеневих режимів зневоднення.

За даними з кінетики теплообміну визначені питомі витрати теплоти на випаровування 1 кг води під час сушіння кубиків банана в шарі за різних температурних режимів. Встановлено, що найбільш енергоефективним є ступеневий режим за температур сушильного агента 100/60 °С.

Перелік посилань:

1. Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Гусарова О.В., Малащук Н.С. Статика, кінетика та енергоефективність процесу сушіння бананів до низької залишкової вологості // Теплофізика та теплоенергетика. – 2025. – Т. 47. – № 3. – С. 7-19. <https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2025.1>

ДОСЛІДЖЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЕРЛІТУ ТА РОЗРОБКА ОХОЛОДЖУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

завідувач лабораторії Мартинюк О. В., інженер Зайцев С. В.

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

Перліт – природний мінерал вулканічного походження, має чудові властивості. Перліт використовують у багатьох сферах господарства. Перліт може застосовуватися в природному вигляді. Але частіше використовується спучений перліт.

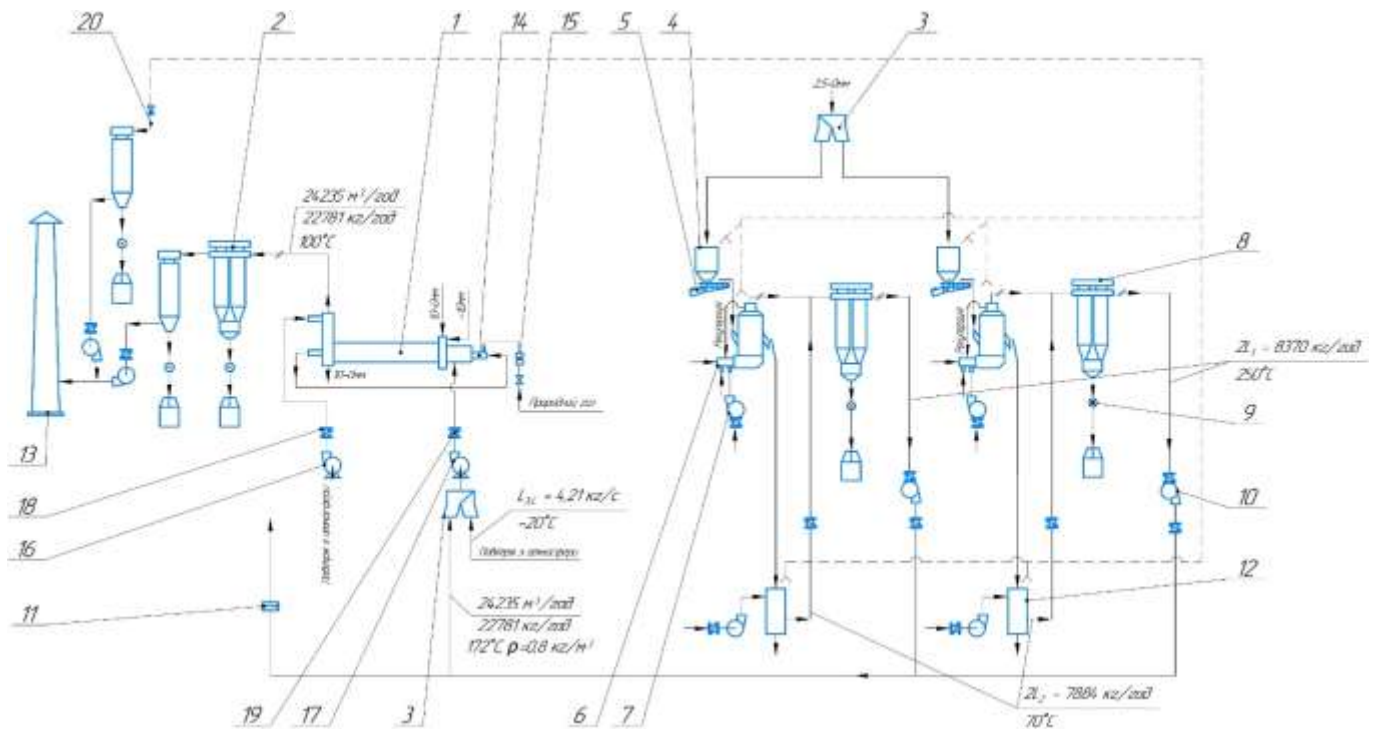
Спучений перліт виготовляють шляхом нагрівання перлітового піску до високих температур (950 – 1200 °С), який при цьому «спучується» за принципом «Поп-корну».

Український перліт який добувають в с. Фогош Берегівського району Закарпатської області, є сировиною для виробництва спученого і термізованого перліту на ПрАТ “Берегівський кар’єр”.

Для виробництва термізованого перліту пропонується двостадійна технологія (рисунок 1), що передбачає попереднє висушування сирого перліту в барабанній сушарці з наступним подрібненням, розсіюванням на фракції і термічною обробкою підсушеного перліту в печах термопідготування для видалення зв’язаної кристалогідратної вологи до її критичного (заданого) вологовмісту. Висушений (термізований) перліт подається в бункер-накопичувач, звідки фасується в транспортну тару.

Термічна обробка перліту відбувається за допомогою димових газів, для чого в барабанній сушарці і печах термопідготування передбачені системи спалення природнього газу. Вартість витрат природнього газу є суттєвою складовою собівартості продукту.

Однією з проблем виробництва є охолодження термізованого перліту, який має високу температуру ($240 \div 250^\circ\text{C}$).



1 – сушильний барабан з рекуператором; 2 – циклони; 3 – заслінка шиберна; 4 – бункер; 5 – віброживильник; 6 – піч термопідготування; 7 – вентилятор; 8 – циклон; 9 – мигалка; 10 – димосос; 11 – мембрана запобіжна; 12 – охолоджувач перліту; 13 – труба димова; 14 – теплогенератор; 15 – пальник газовий; 16 – вентилятор; 17 – вентилятор; 18 – заслінка регулююча D_y 200; 19 – регулююча; 20 – система аспірації

Рисунок 1 – Схема виробництва термізованого перліту

Важливою проблемою є також викиди в довкілля відпрацьованого теплоносія з печей термопідготування з температурою $160 \div 250^\circ\text{C}$. Очищення запилених газів з такими температурами проблематичне. Для охолодження термізованого перліту за замовленням ПрАТ «Берегівський кар'єр» розроблено

охолоджувач, що призначений для охолодження гранул термізованого перліту після печі термопідготування до температури 70 °C за допомогою повітря.

Для зменшення обсягів використання природного газу і свіжого повітря та обсягів викидів пропонується нова принципова схема системи рекуперації теплоти: відпрацьований теплоносій печей термопідготування змішати з відпрацьованим теплоносієм охолоджувачів перліту і використовувати таку суміш в якості теплоносія для барабанної сушарки замість свіжого повітря, що подається на розбавлення димових газів. Заміна свіжого повітря сумішшю відпрацьованих теплоносіїв дозволить зменшити витрати палива, знизити температуру на виході з барабанної сушарки до температури 100 °C і застосувати простий фільтр для ефективного очищення відпрацьованого теплоносія, що викидається в довкілля з барабанної сушарки.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL SOLUTIONS IN POLYMER FIBER EXTRUSION: A REVIEW OF CURRENT TRENDS

Vladyslav Denysiuk– PhD Student of the Department of Machines and Apparatus of Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine); e-mail: denysiuk99@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2644-170X>.

Mykola Shved– PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", (Kyiv, Ukraine); e-mail: npchved46@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7725-1447>.

Dmytro Shved – PhD in Technical Sciences, Lead Engineer of the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Industries National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", (Kyiv, Ukraine); e-mail: npchved46@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6860-3017>.

Introduction

Polymer fibers produced by melt-spinning extrusion play a key role in modern textile and technical industries. This process involves melting the polymer and forcing it through spinnerets to form continuous filaments, which are then drawn to increase their strength. Today, the production of synthetic fibers is influenced by new challenges and requirements. On the one hand, there is growing awareness of the environmental issues associated with synthetic fibers (for example, microplastic pollution), which stimulates the search for sustainable alternatives [1]. On the other hand, the industry aims to improve the quality and functionality of polymer fibers through advancements in materials and technologies. This review highlights current trends in polymer fiber extrusion, including the transition to more **environmentally**

friendly materials, the introduction of **new polymers and additives**, optimization of the **spinning process**, and the development of **multicomponent fibers** with enhanced properties.

Environmental Focus and Production Sustainability

One of the leading trends is the shift toward more environmentally friendly and sustainable solutions in fiber production. Traditional synthetic fibers based on petrochemical polymers pose an environmental problem due to their extremely slow degradation and the formation of microplastics. Currently, increasing attention is being paid to the development of **biodegradable polymer fibers**, which can help reduce the environmental footprint. In particular, extensive research is directed toward the use of biopolymers (PLA, PHA, PBS, etc.) in fiber spinning. Such fibers are capable of degrading within a relatively short cycle, reducing environmental pollution, while their production can lower the consumption of non-renewable resources. It has been established that fibers made from biodegradable polyesters (for example, PLA, PGA) already reach strength and crystallinity levels comparable to conventional polyesters, although optimization of the process is still required due to the thermal sensitivity of certain biopolymers [1].

In parallel, the industry is increasingly turning toward the extensive use of **secondary raw materials. Recycled polymers** (for example, recycled PET or polyamide granulate) are being used more actively in yarn production, particularly in the textile sector. Modern extrusion technologies make it possible to spin fibers directly from recyclates. According to recent studies, the textile industry is increasingly focused on producing yarns from recycled polymers as one of the simplest and most effective approaches to «green» manufacturing. Importantly, modern equipment allows the introduction of necessary additives (such as colorants or stabilizers) directly during extrusion together with the polymer, ensuring uniform distribution without additional processing stages. This approach improves efficiency: as demonstrated in [2], spinning using recyclates with simultaneous incorporation of

functional particles can yield high-quality fibers with minimal deterioration of properties. Overall, the sustainability trend encourages fiber manufacturers to implement circular technologies—from the use of biopolymers to waste recycling—to reduce environmental impact [1].

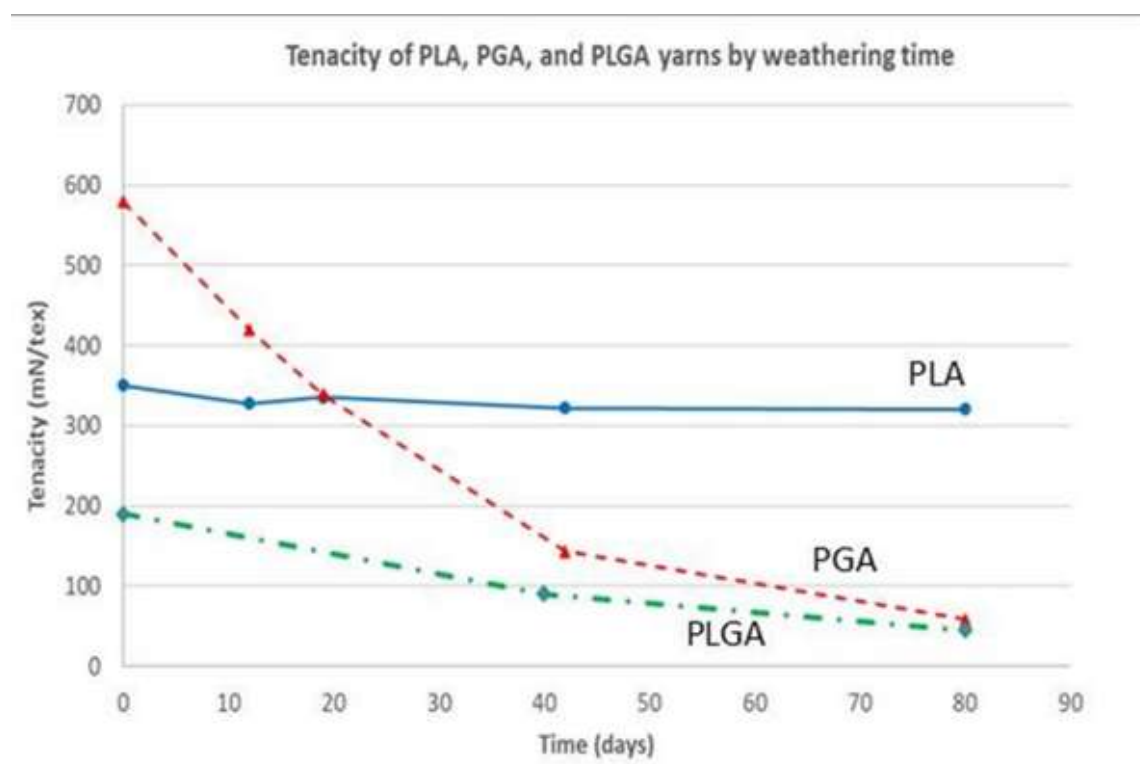


Fig. 1 – Tensile strength of PLA, PGA, and PLGA yarns during the weathering test.

New Materials and Additives for Polymer Fibers

Another direction of development is the emergence of new polymer materials and nanoadditives that enhance fiber properties or provide them with new functionalities. In addition to the previously mentioned biodegradable polymers, researchers are actively exploring **innovative polymers with circular-use potential**. For example, long-chain polyesters have recently been developed that combine high crystallinity and thermal stability with the possibility of **complete chemical recycling** under mild conditions. Strong fibers have already been produced from such polymers: in particular, reports describe fibers with tensile strength of up to 270 MPa, which after use can be enzymatically degraded into monomers within a few days.

These results demonstrate the potential of a new generation of polymers for fiber production—materials that are simultaneously **strong** and **environmentally compatible** [3].

At the same time, considerable attention is paid to the **functionalization of fibers** through the introduction of various additives into the polymer melt. Metal and metal-oxide nanoparticles (ZnO, Ag, nanoclays, etc.), carbon nanotubes, liquid crystals, and other fillers are incorporated into the fiber during extrusion to impart special properties—antibacterial, conductive, UV-protective, and more. Importantly, modern studies confirm the possibility of adding such nanoadditives without critically decreasing the tensile strength or integrity of the fibers. For example, modifying polyamide fibers with zinc oxide nanoparticles (up to 2 wt.% ZnO) has virtually no effect on the mechanical stability of the polymer. In an experimental study, fibers obtained from recycled PA6 with ZnO added demonstrated satisfactory mechanical performance—the stiffness and strength of the yarns remained at control levels, opening the way to **creating fibers with new functionalities without loss of quality**. Such modification can provide antibacterial effects or UV resistance, which are highly relevant for technical and medical textile applications [2].

Improvement of Extrusion Technology and Spinning Parameters

Progress in the production of polymer fibers is largely associated with the enhancement of extrusion technological processes. Modern equipment allows more precise control of fiber-forming conditions—temperature of the plastification zone, yarn take-up speed, cooling profile, and so on—which makes it possible to deliberately influence the internal structure and properties of the final product. Studies show that **increasing the spinning speed and optimizing the temperature regime** can significantly improve the mechanical characteristics of the fiber. For instance, in polybutylene succinate (PBS) yarns, it has been established that lowering the spinning temperature and increasing the winding speed enhance tensile strength due to the formation of a finer and more ordered supramolecular structure. At a drawing

speed of ~2500 m/min and optimized extrusion temperature, the strength of PBS fibers increased by more than 30% compared to the standard regime. High spinning speeds promote the formation of much smaller spherulites; after subsequent orientational drawing, these fine crystallites are stretched into lamellae, resulting in higher crystallinity and chain orientation, which ultimately increases strength. Thus, the **high-speed spinning method** implements the principle of stress-induced crystallization, increasing the degree of structural ordering in the fiber. This approach is now being introduced into industrial processes for producing polyester and polyamide yarns: for example, in polyester, high drawing rates significantly accelerate crystallization, enabling the production of highly oriented fibers without loss of productivity [4].

In addition to process optimization, there is an ongoing **evolution of extrusion equipment itself**. Modern extruders for fiber production are equipped with precision temperature-control systems and yarn-tension control, which minimizes thickness fluctuations and defects. Twin-screw extrusion systems are being implemented to improve polymer–additive mixing immediately before fiber formation. Such compounding extrusion is particularly useful when processing blends or introducing high concentrations of additives: the twin screw provides intensive mixing and degassing, improving melt uniformity. For example, when producing fibers with high filler content (pigments, nanofillers), twin-screw extrusion ensures a more uniform dispersion of additives in the polymer matrix compared to a single-screw extruder. This is confirmed by industrial data and studies showing that, with 40% pigment content in the melt, the optimal twin-screw configuration provided homogeneous fiber coloration and prevented agglomeration [5]. Overall, the trend toward technological precision manifests both in the careful selection of process parameters and in the modernization of equipment—from spinneret design (for producing complex-profile or hollow fibers) to real-time automated control of yarn thickness and tension.

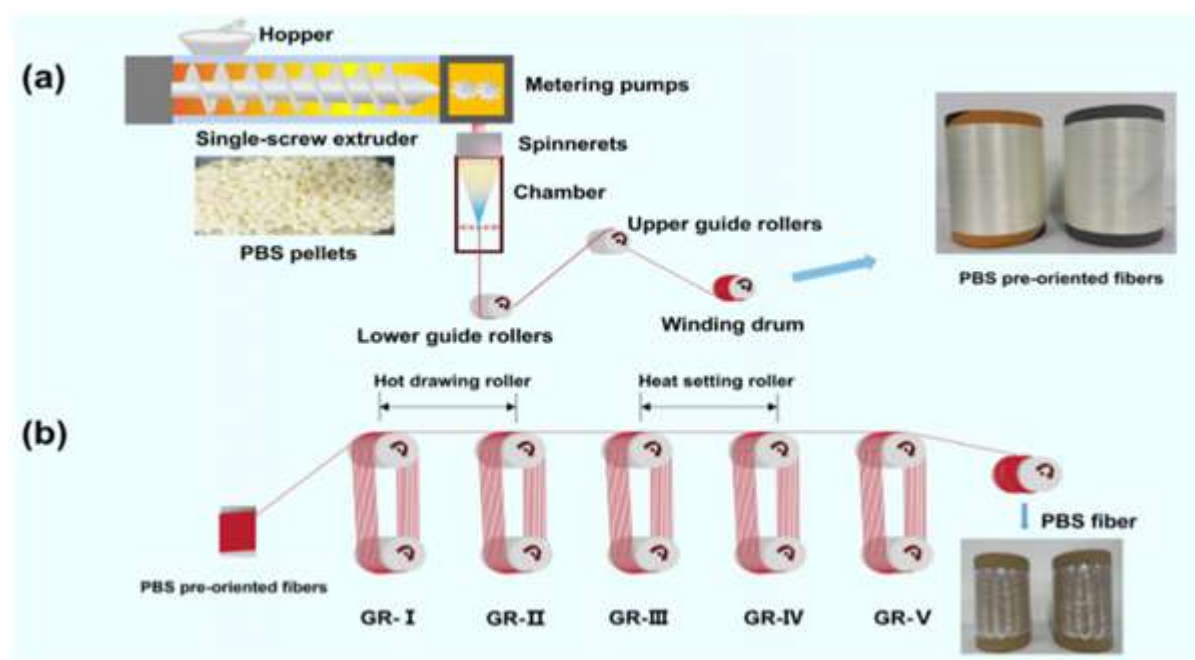


Fig. 2 – Flowchart of PBS fiber production: (a) melting and spinning; (b) subsequent drawing of pre-oriented PBS yarns.

Multicomponent and Specialized Fibers

To meet the increasing performance requirements of modern materials, the production of **multicomponent (hybrid) fibers** using co-extrusion technologies is actively developing. Such fibers consist of two or more polymers simultaneously (for example, core–sheath or segmented fibers), allowing different useful properties to be combined within a single filament. Recent studies emphasize the potential of polymer co-extrusion for creating new fiber architectures. In particular, successful spinning of PLA/PBS biopolymer composite yarns with a segmented cross-sectional structure (the so-called pie-shaped fibers) has been demonstrated. These fibers outperform traditional PLA/PP fibers in terms of phase compatibility and mechanical performance. At a PLA:PBS ratio of approximately 50:50, it was possible to achieve uniform component distribution and a stable fiber structure, resulting in an optimal balance between tensile strength and elongation at break. Other examples include composite fibers made from biopolymers with added functionalities—for instance, incorporating biologically active substances into the fiber structure. It has been

shown that coating PBS/PLA fibers with plant-extract layers imparts antibacterial properties to the nonwoven material while maintaining over 90% of the fiber's biodegradability. This demonstrates the feasibility of creating **dual-functional fibers**, which are simultaneously mechanically reinforced and endowed with special properties without compromising environmental safety [4].

A review of publications [1–5] shows sustained scientific interest in multicomponent and combined fibers. Technologies for forming **bi- and tri-component fibers**, as well as "islands-in-the-sea," core–sheath, and bicomponent fibers, continue to evolve. These approaches make it possible, for example, to combine in a single filament a high-strength polymer (for load-bearing capability) with a polymer possessing specific surface properties (for dyeability, pharmacological functionality, etc.). Such bi- and tri-component fibers are already used in practice—from the production of microfibers (where one component is later dissolved to obtain ultrafine filaments) to the creation of "smart" textile materials with integrated conductive or optical elements. In recent years, a number of review papers have summarized advances in multicomponent spinning and nanofiber technologies. It is noted that combining polymers within a fiber enables property tuning across a wide range that is unattainable for single-component filaments. Thus, the trend toward innovative fibers is reflected not only in the development of new materials but also in new fiber architectures that combine multiple materials and thereby satisfy the multifunctional demands of modern industries—from medicine to aerospace composites.

Conclusions

Modern production of polymer fibers by extrusion is rapidly advancing under the influence of sustainable development requirements and progress in materials science. A shift is occurring from traditional approaches toward **innovative environmental solutions**—the introduction of biodegradable and recycled polymers aims to reduce the negative environmental impact of synthetic fibers. At the same

time, improvements in extrusion process parameters (high-speed spinning, precision process control) make it possible to obtain fibers with enhanced mechanical performance and refined internal structure. Another important direction is the **functionalization of fibers**—through the incorporation of nanoadditives or the creation of multicomponent filament structures, additional properties such as electrical conductivity, antibacterial activity, and increased thermal stability can be achieved. The combination of different materials within a single fiber opens pathways to the production of “smart” textile materials and high-strength composite structures. Therefore, current trends in polymer fiber extrusion are characterized by a focus on **sustainability, quality, and multifunctionality**, ultimately contributing to the emergence of a new generation of polymer fibers for various applications.

References:

1. Naeimirad, M., Krins, B., McLuskie, A. et al. Physical characterization and biodegradation of fibers produced by melt-spinning of aliphatic polyesters. *Sci Rep* 15, 24543 (2025).
2. Ludaš Dujmić A., Radičić R., Ercegović Ražić S. et al. Characterization of Melt-Spun Recycled PA6 Polymer by Adding ZnO Nanoparticles during the Extrusion Process. *Polymers*, 16(13), 1883 (2024).
3. Wurst K., Birkle M., Scherer K.J., Mecking S. Circular Melt-Spun Textile Fibers from Polyethylene-like Long-Chain Polyesters. *ACS Applied Polymer Materials*, 6(15), 2644–2653 (2024).
4. Liu H., Li H., Hu Z. et al. The Influence of Spinning Process on the Properties and Structure of PBS Fibers. *Polymers*, 17(9), 1138 (2025).
5. Safraoui L., Benhadou B., Haddout A. et al. Influence of twin screw configuration on the dispersion quality of the high concentration colored-masterbatch. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(4), 266–276 (2017).

UDC 663.127

MODERNISATION OF THE HEAT EXCHANGER IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF FEED YEAST PRODUCTION

Ph.D. Husarova O.V.^{1, 2}, master Chukhlib Y.S.¹

¹ National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

² Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ABSTRACT: *The paper considers the design of a horizontal single-pass heat exchanger for heating wort supplied to a fermenter for yeast cultivation. A modernisation of the heat exchanger is proposed with the aim of improving heat transfer conditions.*

KEY WORDS: FEED YEAST, HEAT EXCHANGER, HEAT EXCHANGE, MODERNISATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННИКА У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА КОРМОВИХ ДРІЖДЖІВ

к.т.н. Гусарова О. В.^{1, 2}, магістрантка Чухліб Ю.С.¹

¹ Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

АНОТАЦІЯ: *у роботі розглянуто конструкцію горизонтального одноходового теплообмінника для підігріву сусла, що подається у ферментер для культивування дріжджів. Запропоновано модернізацію теплообмінника з метою покращення умов теплопередачі.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОРМОВІ ДРІЖДЖІ, ТЕПЛООБМІННИК, ТЕПЛООБМІН, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Introduction

Feed yeast is a dry concentrated biomass of yeast cells, specially grown for feeding farm animals, poultry, fur animals, and fish [1].

Yeast is an excellent source of protein, which is significantly higher in quality than plant-based proteins and is close to animal proteins. At the same time, the unit mass of yeast protein is significantly lower than that of animal-based feed [1-2].

In the feed yeast production process, before the wort is fed into the fermenter, it must be heated to a temperature close to the yeast cultivation temperature in the culture fluid.

Heat exchange is the process of transferring energy in the form of heat from a hotter body to a cooler one. In industrial conditions, this process is implemented using heat exchangers – devices in which the working media are heated or cooled. The type and design of the heat exchanger are determined by the operating conditions, types of heat transfer fluids and process efficiency requirements [3].

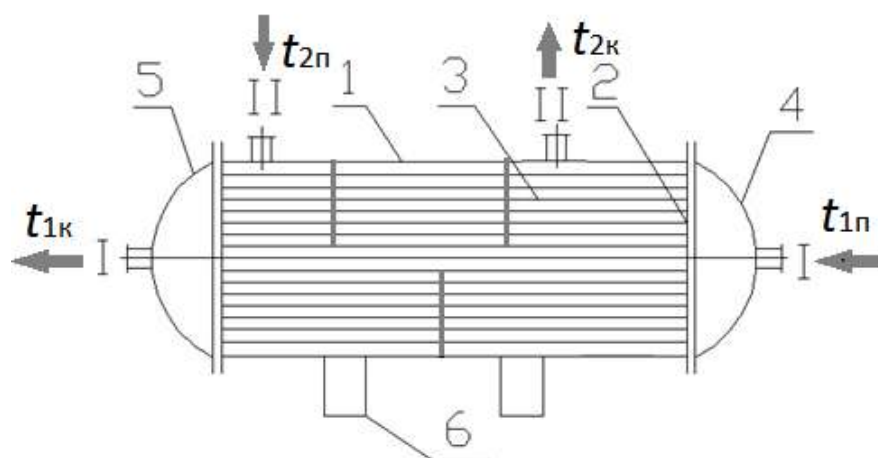
Description of the heat exchanger design

Shell-and-tube heat exchangers are an important element in heating systems used in the energy, chemical, food and biotechnology industries. Their main purpose is to ensure efficient heat exchange between two heat carriers with different temperatures without mixing them directly.

A single-pass horizontal shell-and-tube heat exchanger was selected for this production. The advantages of such a heat exchanger include: high heat transfer efficiency, the ability to operate at different pressures and temperatures, ease of maintenance and cleaning of internal surfaces, and compact placement in the process diagram.

This design is best suited for systems in which one heat transfer medium is a liquid and the other is hot water, which is typical for heating, cooling or condensation process lines [3].

The heat exchanger diagram is shown in Figure 1.



1 – casing; 2 – pipe grids; 3 – pipe bundle; 4, 5 – covers; 6 – supports

Figure 1 – Heat exchanger diagram

The principle of operation of a shell-and-tube horizontal heat exchanger is as follows. Hot coolant (water) is fed into the inter-tube space, washing the outer surface of the tubes, while cold coolant (wort) is fed into the tube space. As the coolants move, heat is transferred through the pipe walls – the hot coolant cools down and the cold coolant heats up. This system allows for effective control of the working environment temperature and maintenance of the required thermal conditions in the technological process. The process is stopped when the apparatus is released for disinfection, after which it resumes operation.

The aim of the work is to modernise the heat exchanger for heating wort before feeding it to feed yeast cultivation, followed by verification of the feasibility of modernisation in the SolidWorks system.

Materials and methods

SolidWorks software was used to build a 3D model of the modernisation of a horizontal shell-and-tube heat exchanger.

This is a modern CAD system that allows you to create parametric 3D models, assemblies and drawings, as well as perform strength, hydrodynamics and heat transfer analyses [4].

The idea of modernising the heat exchanger

In this heat exchanger, the limiting stage of heat exchange is the low heat transfer coefficient in the intertube space. Therefore, modernisation should focus on eliminating this drawback.

It is proposed to replace the smooth outer surfaces of the pipes with spiral fins (screw-type) in the inter-tube space, Figure 2.

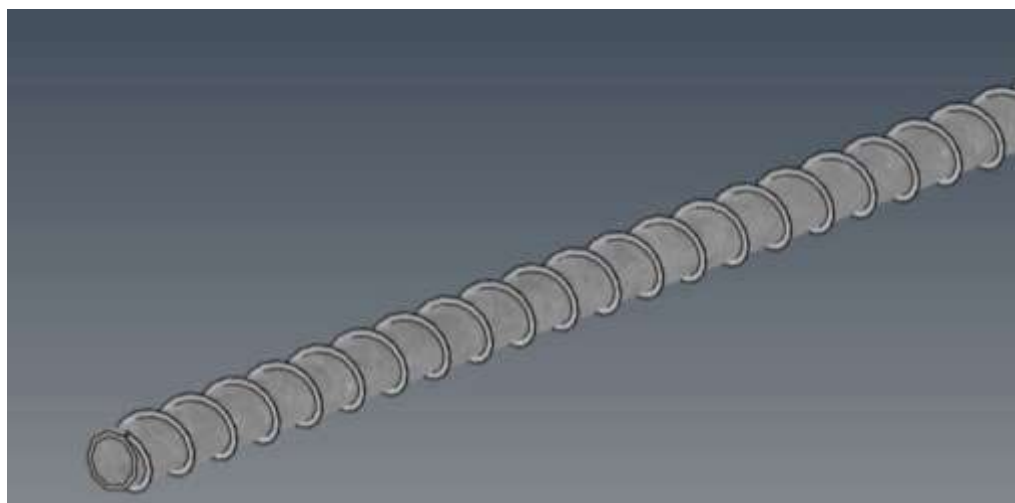


Figure 2 – Modernised heat exchange pipe

This will provide additional surface area for heat exchange and ensure the movement of heating water along a helical trajectory, breaking up the wall layer and increasing the heat transfer coefficient.

Such modernisation will lead to an increase in hydraulic resistance, so during the simulation, the optimal spiral fin pitch will be determined to achieve maximum thermal efficiency with the minimum permissible hydraulic resistance. We will compare three pitch options (25, 30, 35 mm).

Conclusions

As a result of the work, a shell-and-tube horizontal heat exchanger design was developed that provides efficient heat transfer between two working media. The choice of this type of device was justified in view of its reliability, efficiency and ease of operation.

It was proposed to replace the smooth outer surfaces of the pipes with spiral fins in the inter-pipe space. A three-dimensional model was created in SolidWorks, demonstrating the design features of the device and the idea of modernisation.

The proposed modernisation is aimed at improving the efficiency, energy efficiency and ease of maintenance of the heat exchanger.

References:

1. Bondarchuk M.N. Feed yeast / M.N. Bondarchuk // Poultry farming. 2007.- No. 5-6. P. 23-27.
2. Husarova O. V., Chukhlib Y. S., Justification of the choice of fermenter design in the production of feed yeast // Abstracts of the XXXVI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Equipment of Chemical Production and Building Materials Enterprises". — Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2025. — P. 156–160.
3. Dyachenko V.I. Heat exchange devices in food production / V.I. Dyachenko // NTUU 'Igor Sikorsky KPI'. – 2019. – No. 3. – P. 45–212.
4. SolidWorks 2024. Офіційна документація / Dassault Systèmes // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solidworks.com/>

УДК - 661.7

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ

студентка Вакуліна А.Д, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: : Розглянуто два патенти, які описують методи модернізації перемішуючого апарату, проаналізовано принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЗМІШУВАЛЬНИЙ АПАРАТ, ВИРОБНИЦТВО АМІНОСМОЛ.

Absrtact: Two patents describing methods for modernizing a mixing machine were reviewed, the principle of operation was analyzed, and the advantages and disadvantages were indicated.

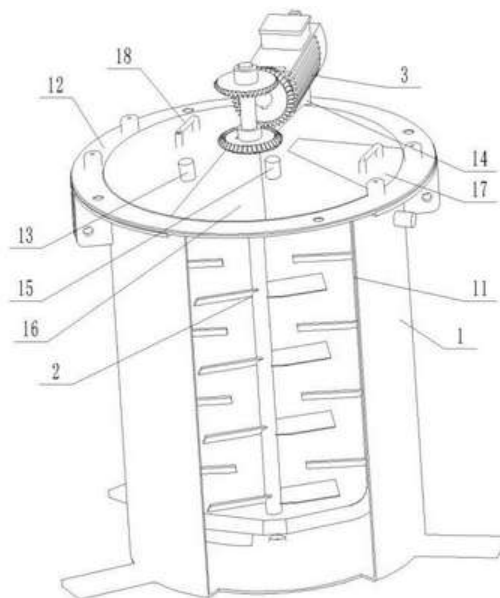
KEY WORDS: MODERNIZATION, MIXING MACHINE, AMINO RESIN PRODUCTION.

Розглянемо патент CN119260970A[1], який описує пристрій для подачі, змішування та перемішування для виробництва пластикової клейової смоли.

Даний апарат є спеціалізованим змішувачем для полімерної промисловості, призначеним для інтенсивного перемішування твердих пластикових частинок з рідкими смолами. Його ключовою особливістю є унікальна система газообігу, яка вирішує проблему прилипання в'язкої смоли до стінок апарата та забезпечує ідеальну однорідність суміші.

Це спеціалізований змішувач для полімерної промисловості, призначений для інтенсивного перемішування твердих пластикових частинок з рідкими смолами. Система вирішує ключову проблему прилипання в'язкої смоли до стінок апарата шляхом поєднання механічного перемішування та унікальної

системи газообігу, що забезпечує високу однорідність суміші. Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли зображена на рисунку 3.6.



1 – корпус барабану; 2 – мішалка; 3 – двигун; 11 – корпус циліндра; 12 – кришка; 13 – відвід повітря; 14 – кріплення; 15 – балансувальний клапан; 16 – оглядове вікно; 17 – люк подачі; 18 – ручка;

Рисунок 1 – Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли [1]

Технологічний процес відбувається наступним чином. Після завантаження сировини через завантажувальний люк та герметизації апарата, включається нагрівальний шар барабана для плавлення смоли. Одночасно запускається мішальний механізм, який за допомогою внутрішнього та зовнішнього вала з лопатями обертається в протилежних напрямках, інтенсивно перемішуючи суміш. Під час цього процесу частина рідкої смоли неминуче прилипає до внутрішніх стінок. У цей момент вмикається система газообігу: насос створює розрідження в робочій камері та надлишковий тиск в газовому просторі між шарами стінки барабана. Стиснене повітря через спеціальні конічні отвори під високим тиском "здуває" прилиплі краплі смоли, утворюючи на їх поверхні бульбашки, які лопаються та розпорошують смолу в центральну

зону перемішування. Додатково, потік газу формує захисну повітряну плівку на внутрішній поверхні, що запобігає подальшому налипанню.

Пристрій, описаний у патенті, має ряд переваг, які виділяють його серед інших. Однією з ключових переваг є високий ступінь однорідності готової суміші, досягнутий завдяки поєднанню механічного перемішування зустрічно обертовими мішалками та пневматичного впливу, який повертає прилиплий матеріал у зону перемішування. Крім того, герметична конструкція дозволяє працювати з летючими сполуками та забезпечує стабільність температурного режиму, що є критично важливим для якості полімерних композитів.

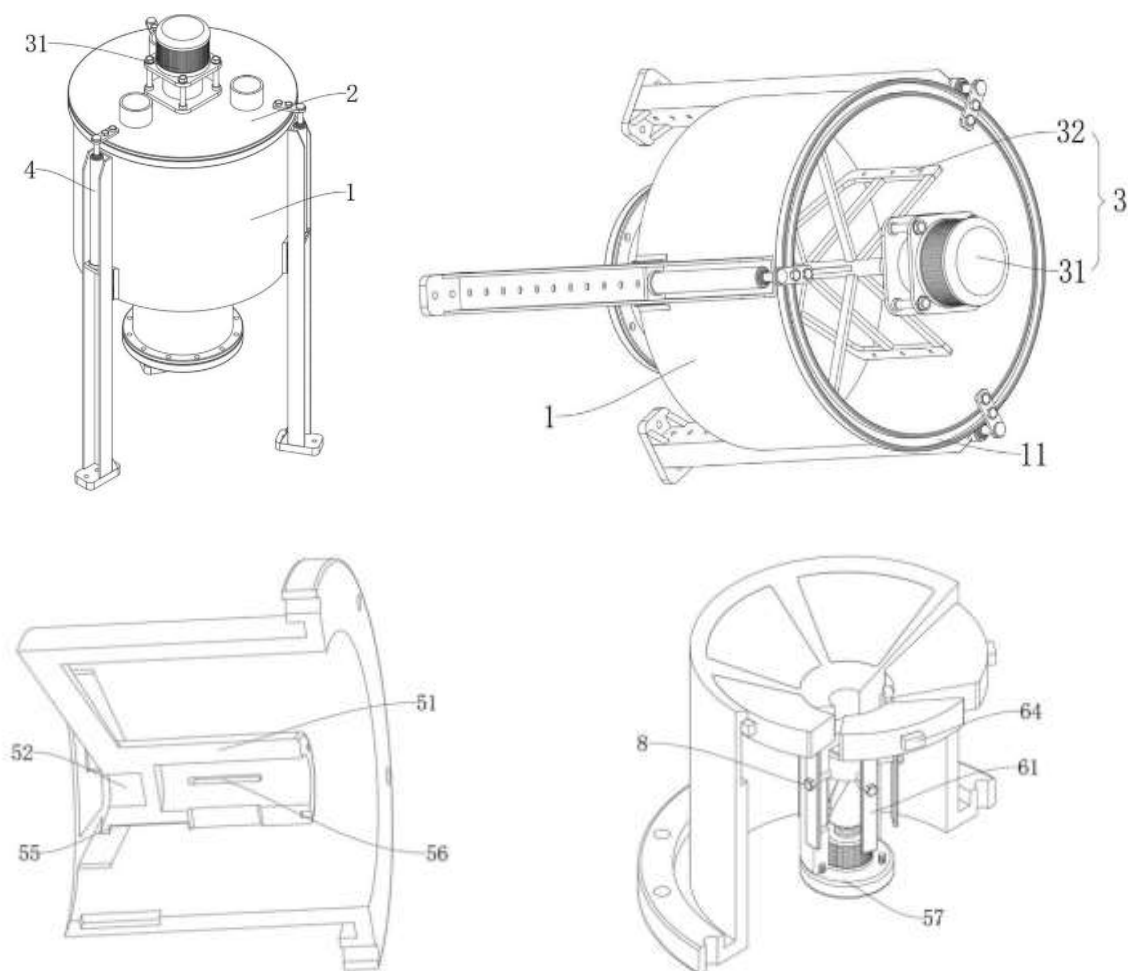
Однак є й певні недоліки, які варто врахувати. Серед них можна виділити підвищені енерговитрати, зумовлені необхідністю живлення системи нагріву, двох приводів мішалки та потужного повітряного насосу. Високі вимоги до якості матеріалів для внутрішнього шару барабана, що контактує з абразивними частинками та хімічно активними смолами, також можуть збільшити собівартість апарата. Ще одним недоліком є технологічна складність конструкції, обумовлена наявністю багатошарового барабана, подвійного приводу мішалки та системи газообігу, що вимагає кваліфікованого обслуговування.

Розглянемо патент CN119425481A, який описує змішувальну машину для виробництва та обробки фарби, стійкої до високих температур [2].

Це змішувач, призначений для приготування жаростійких фарб, основним завданням якого є забезпечення ефективного та однорідного перемішування компонентів. Його ключовою особливістю є вбудований контрольний механізм у вихідному отворі, який запобігає передчасному витіканню матеріалу під час процесу змішування.

Принцип роботи заснований на комбінації механічного перемішування та інтелектуального контролю вивантаження. Ключовою особливістю апарата є вбудований контрольний механізм у вихідному отворі, який складається з

розвантажувальної гирки, розділових елементів та приводу. Під час процесу змішування розділові пластини повністю блокують вихідні отвори, запобігаючи передчасному потраплянню матеріалу в зону вивантаження. Коли змішування завершено, привод опускає пластини, відкриваючи канали для виходу готової фарби. Додатково, регульовані скребки на мішалній рамці забезпечують ефективне очищення стінок від прилиплого матеріалу.



1 – змішувальний барабан; 2 – кришка; 3 – вузол перемішування; 4 – підйомний стрижень; 8 – гвинт; 11 – паз монтажного кільця; 31 – двигун перемішування; 32 – рама перемішування; 51 – опорна конструкція; 52 – порожнина; 55 – напрямний паз; 56 – ковзуючий отвір; 57 – опорна основа; 61 – пластина; 64 – ковзуючий блок;

Рисунок 2 – Схема змішувача для виробництва та обробки високотемпературної фарби [2]

Переваги цієї технології полягають у високій якості змішування, досягнутої завдяки повній ізоляції робочої камери під час процесу, що запобігає втраті матеріалу. Покращена стабільність роботи мішального вала за рахунок додаткової опори в нижній частині апарата зменшує вібрації та знос, підвищуючи довговічність обладнання. Крім того, зручність обслуговування завдяки механізму підйому кришки з допомогою гідравлічного штока спрощує очищення та огляд внутрішньої порожнини.

Серед недоліків варто зазначити технологічну складність виготовлення всього вузла контрольного механізму. Потенційне засмічення рухомих елементів цього механізму в'язкою фарбою може ускладнити його функціонування та вимагати регулярного чищення. Ефективність апарата також може бути обмеженою при роботі з дуже в'язкими матеріалами, які здатні утруднювати роботу розділових пластин та блокувати вихідні отвори.

Висновок:

Розглянувши патенти, можна зробити висновок, що модернізації перемішуючого апарату для установки виробництва аміносмоле є важливим напрямком для забезпечення якості та ефективності у виробництв. Обидва винаходи пропонують інноваційні рішення для ключових проблем галузі: перший – для боротьби з прилипанням матеріалу, другий – для точного контролю процесу вивантаження. Незважаючи на наявні технологічні складності та підвищені витрати, їх впровадження сприяє розвитку інноваційних технологій у галузі промислового змішування, що є важливим для підвищення продуктивності та якості готової продукції.

Перелік посилань:

1. Feeding, mixing and stirring device for manufacturing plastic adhesive resin: пат. CN119260970A Китай : B29B7/18; B29B7/80; B29B7/84;. № CN202411795383A; заявл. 09.12.2024 ; опубл. 07.01.2025. 13 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A)

2. Stirring machine for producing and processing high-temperature-resistant paint : пат. CN119425481A Китай : B01F27/96; B01F35/12; B01F35/42; B01F35/45; B01F101/30;. № CN202411638401A ; заявл. 17.11.2024 ; опубл. 14.02.2025. 17 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A)

UDC 664.41

MODERNIZATION OF THE BOILED SALT PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A DRUM DRYER AND CYCLONE

student Gnidenko S. V., associate professor, candidate of technical sciences,

Stepaniuk A. R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANNOTATION. The use of table salt in the food industry is described and characterized.

KEYWORDS: BOILED SALT, PURPOSE OF SALT, FOOD INDUSTRY, TECHNOLOGICAL SCHEME, DRUM DRYER, CYCLONE.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ПОВАРЕНОЇ СОЛІ З РОЗРОБКОЮ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ ТА ЦИКЛОНУ

студент Гніденко С. В., доц., к.т.н., Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. Описано і охарактеризовано використання повареної солі у харчовій промисловості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОВАРЕНА СІЛЬ, ПРИЗНАЧЕННЯ СОЛІ, ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, БАРАБАННА СУШАРКА, ЦИКЛОН.

Table salt (NaCl, sodium chloride) is a key ingredient in virtually all technological processes in the food industry and catering. It is widely used as an electrolyte, which increases the electrical conductivity of the solution, especially in cases where improved ion exchange and better efficiency of electrochemical processes are required.

Salt effectively changes the physicochemical properties of solutions, therefore it is important in evaporators, where controlling the boiling point allows you to regulate the intensity of evaporation and avoid overheating of components [1].

The main methods of obtaining table salt are evaporation of brine, solar evaporation of seawater, or extraction of rock salt from deposits, and freezing salt from various solutions [2].

In Ukraine, brine was extracted at the beginning of the 11th century in the oldest mines of the Carpathian region (the city of Drohobych and the village of Tustanovichi), which was used for boiling salt. During the evaporation of the purified brine, table salt was obtained, which was used in everyday life to enhance the taste of cooked food.

Over time, this process has undergone numerous changes: methods for purifying salt have been improved, and apparatus designs have been improved, which has increased the efficiency of evaporation and crystallization processes and ensured the production of a high-quality final product [3].

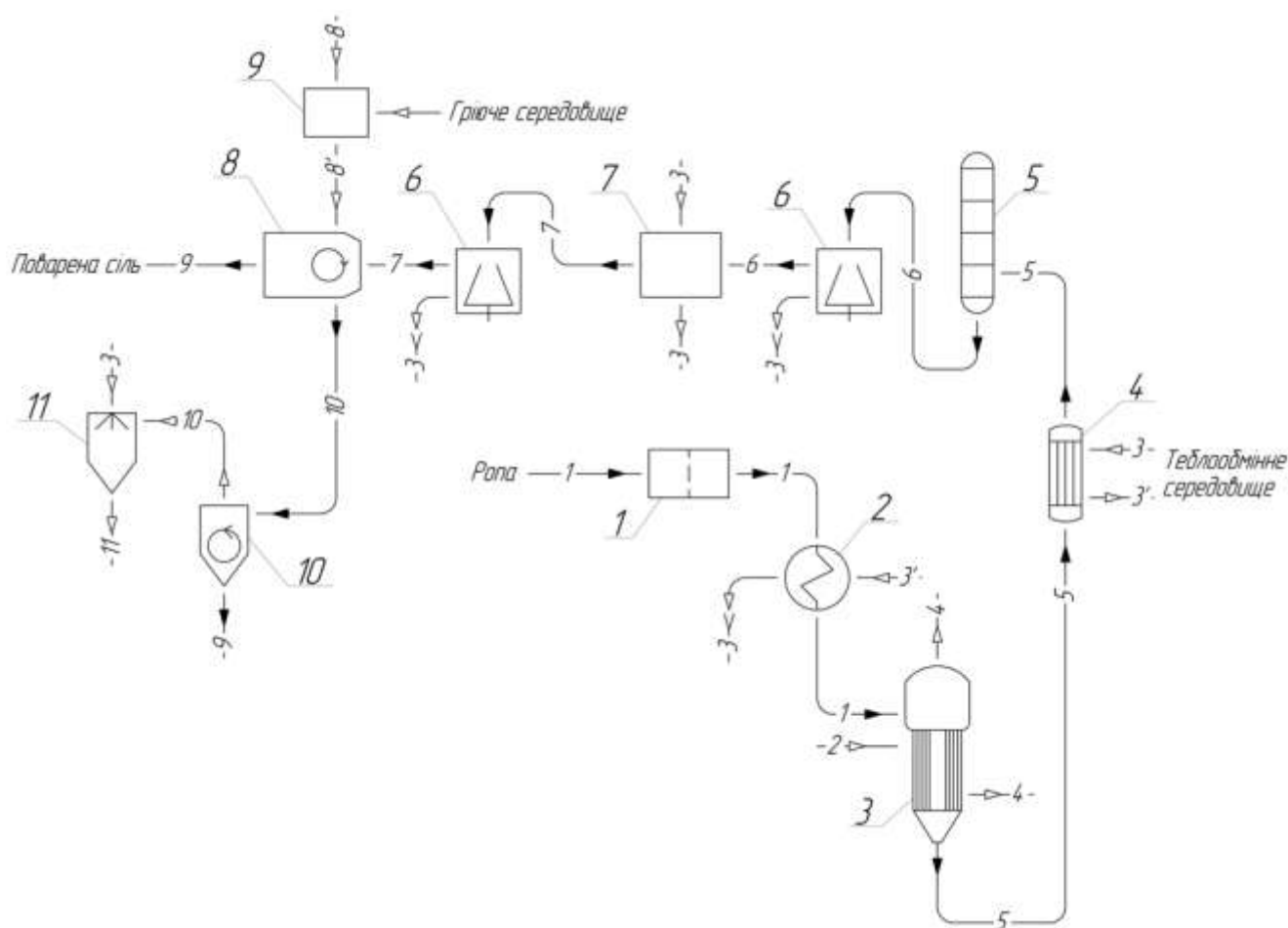
Description of the technological scheme for the production of table salt [4].

The technological scheme of the process of extracting table salt is shown in Figure 1.1.

The salt solution is fed into the filter 1, heated in the heater 2 and fed to the evaporator 3, where a concentrated solution is formed. Then the mixture enters the heat exchanger 4 and the crystallizer 5, where crystalline salt is formed. Water is separated from the resulting mixture in a centrifuge 6, purified in a water washer 7

and centrifuged again in a centrifuge 6. The salt is fed into a drum dryer 8, where it is dried with hot air by a heater 9. As a result, the final product is obtained - table salt.

To prevent the emission of salt gases into the atmosphere, a cyclone 10 is installed, designed to capture salt particles, and a wet dust collector 11, in which an aqueous salt solution is formed.



- 1 – filter; 2 – heater; 3 – evaporator; 4 – heat exchanger; 5 – crystallizer; 6 – centrifuge; 7 – water washer; 8 – drum dryer;
9 – heater; 10 – cyclone; 11 – wet dust collector.

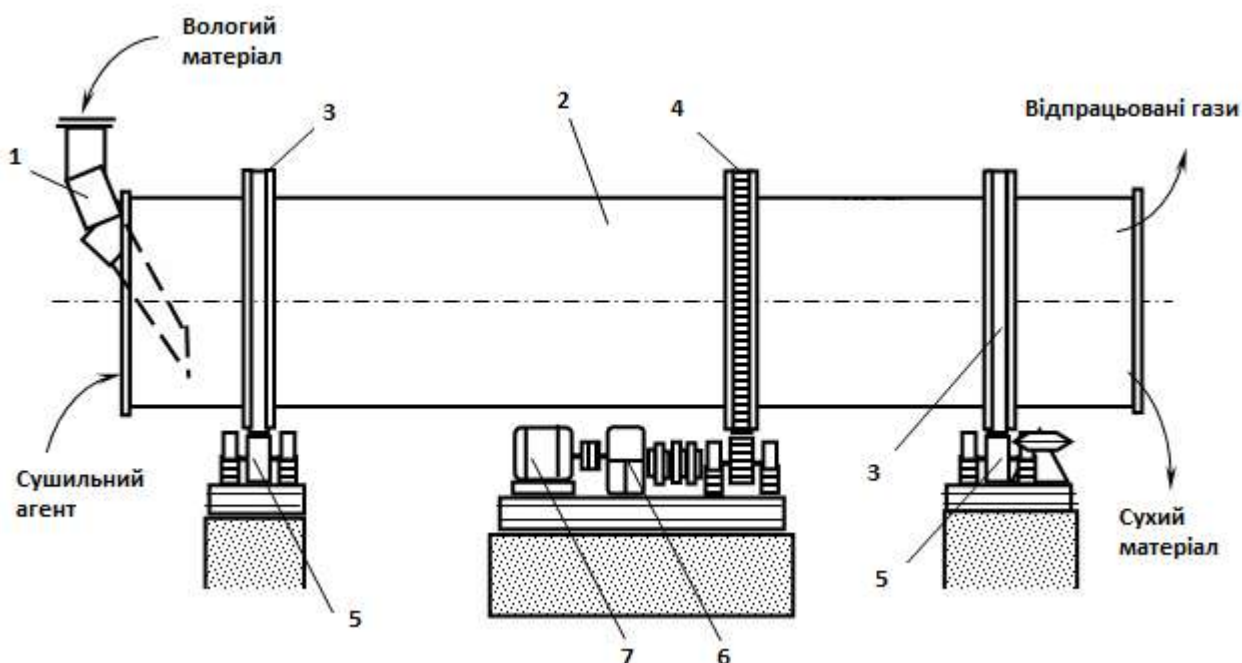
Figure 1.1 – Technological scheme of the production of table salt by evaporation of brine

Selection of type and description of device design

A simplified diagram of a drum dryer is shown in Figure 1.2 [5].

Figure 1.2 shows a simplified diagram of a drum dryer designed for drying table salt. It consists of a cylindrical drum 2, installed with a slight inclination to the horizon to ensure gradual, smooth movement of the material along its length. The drum is supported on rollers 5 by means of bandages 3, which ensure stable rotation of the apparatus. The rotation of the drum is carried out by an electric motor 7 through a reducer 6 and a drive ring gear 4. (1,5 – 5°)

The material is fed into the drum through the loading tray 1, where it is captured by the internal blades and evenly distributed across the cross-section of the apparatus. During the rotation, the material is intensively mixed and comes into contact with the drying agent moving in countercurrent.



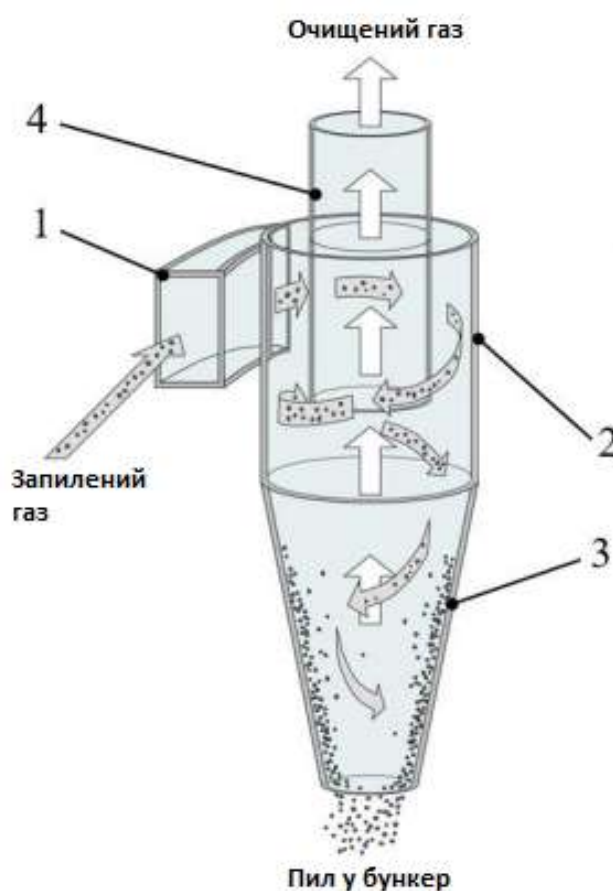
1 – loading tray; 2 – drum; 3 – bandage; 4 – drive crown gear; 5 – rollers; 6 – gearbox; 7 – electric motor.

Figure 1.2 – Simplified diagram of a drum dryer

Under the action of the rotation of the drum and the inclination of the housing, the dried material gradually moves to the output part of the dryer, from where it is discharged through the unloading device [5].

A simplified diagram of a cyclone is shown in Figure 1.3 [6].

Figure 1.3 shows a cyclone for cleaning exhaust gases from solid particles of table salt by centrifugal forces. The main elements of the device are a cylindrical housing 2 and a conical bottom 3. The dusty gas is fed through the inlet pipe 1 into the upper part of the housing. Entering the cyclone, the gas flow twists and moves along a spiral trajectory from top to bottom along the walls of the device. Under the action of centrifugal force, solid particles are separated from the gas, settle on the inner surface of the housing and fall into the conical part 3, from where they enter the dust collection hopper. The gas purified from solid particles is directed upwards and discharged from the cyclone through exhaust pipe 4 [6].



1 – inlet pipe; 2 – cylindrical part of the housing; 3 – conical part of the housing; 4 – exhaust pipe.

Figure 1.3 – Simplified diagram of a cylindrical-conical cyclone

List of links

1. <https://atena.com.ua/ua/a506124-povarennaya-sol-dlya.html>from 10/22/25
2. <https://kalajdynci.pl.ua/osvita/?%D0%AF%D0%BA%20%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%20%D1%87%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%83%20%D0%BA%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%83%20%D1%81%D1%96%D0%BB%D1%8C>from 10/22/25
3. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BF%D0%B0>from 10/22/25
4. Common salt and its solutions: a reference book. / M. V. Goncharova et al. L.: Chemistry, 1970. 104 p. dated 22.10.25
5. 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%B8from 10/22/25
6. Kornienko Ya.M. Processes and equipment of chemical technologies. Part 2. Workshop [Electronic resource]: training manual for a bachelor's degree in the educational program "Computer-integrated technologies for the design of chemical engineering equipment" speciality 133 Mechanical engineering / Kornienko Ya.M., Stepaniuk A.R., Gulienko S.V., Gaidai S.S., Seminsky O.O. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025. – 520 p. from 22.10.25

MODERNIZATION OF POLYMER GASOLINE PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR REACTOR AND HEAT EXCHANGER

student Nefyodova K.V., Ph.D., associate professor Stepanyuk A. R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Annotation: *The paper considers the modernization of a tubular polymerization reactor by improving the design of the intertube space using helical baffles. The aim of the study was to increase the efficiency of heat transfer and stability of the temperature regime by intensifying the movement of the cooler. Based on computer modeling in SolidWorks Flow Simulation, it was determined that the introduction of baffles provides an increase in the heat transfer coefficient by 30–35% and improves the uniformity of the reactor thermal field.*

KEYWORDS: POLYMER GASOLINE, TUBULAR REACTOR, MODELING, HEAT TRANSFER, SCREW BAFFLES, HYDROPIGGING, SIMULATION EXPERIMENT.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРБЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ ТРУБЧАСТОГО РЕАКТОРА ТА ТЕПЛООБМІННИКА

студентка Нефьодова К.В., к.т.н., доцент Степанюк А. Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *У роботі розглянуто модернізацію трубчастого реактора полімеризації шляхом удосконалення конструкції міжтрубного простору за допомогою гвинтових перегородок. Метою дослідження було підвищення ефективності теплообміну та стабільності температурного режиму за рахунок інтенсифікації руху охолоджувача. На основі комп'ютерного*

моделювання у SolidWorks Flow Simulation визначено, що впровадження перегородок забезпечує зростання коефіцієнта теплопередачі на 30–35 % і покращує рівномірність теплового поля реактора.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛІМЕРБЕНЗИН, ТРУБЧАСТИЙ РЕАКТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛООБМІН, ГВИНТОВІ ПЕРЕГОРОДКИ, ГІДРОПІГГІНГ, СИМУЛЯЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ.

Modernization of a tubular reactor involves the implementation of two key technical solutions aimed at increasing its efficiency and reducing operating costs. The first step is the installation of helical baffles in the intertube space. This design solution allows you to direct the coolant flow along a spiral trajectory along the tube bundle. This eliminates stagnant zones, where there is usually an uneven temperature distribution, equalizes the thermal regime and significantly increases the efficiency of heat removal. This is especially important for exothermic polymerization processes, where temperature control determines the stability of the reaction and the quality of the final product. [1]

The work involved modeling thermal and hydrodynamic processes in a tubular polymerization reactor using SolidWorks Flow Simulation. The purpose of the simulation experiment was to evaluate the effect of helical baffles in the intertube space on the uniformity of heat transfer and the feasibility of using hydropigging for cleaning pipes without dismantling.

For the calculation, a 3D model of a tubular reactor was created (Figure 1), containing 187 tubes with a diameter of 0.05 m and a length of 9 m, placed in a casing with a diameter of 1.2 m. The working medium is a mixture of isobutylene and butylene at a temperature of 450 K and a pressure of 0.5 MPa; the coolant is water (inlet temperature 298 K, flow rate 0.5 kg/s per section).



Figure 1 – Geometric 3D model of the reactor

As a result of the computer simulation, a comparison was made between the basic and modernized designs of the tubular reactor. The analysis showed that the introduction of helical baffles in the intertube space significantly affected the thermal and hydrodynamic characteristics of the installation. In particular, the average heat transfer coefficient increased from 410 to 545 W/(m²·K), which corresponds to an increase in the efficiency of the heat exchange process by approximately 33%. Due to improved coolant mixing and the elimination of stagnant zones, the temperature difference along the working length of the reactor decreased from 19.2 °C to 6.4 °C (see Fig. 2)

This indicates a significant improvement in the uniformity of the thermal field, which is critically important for preventing local overheating and unwanted uncontrolled polymerization of reagents.

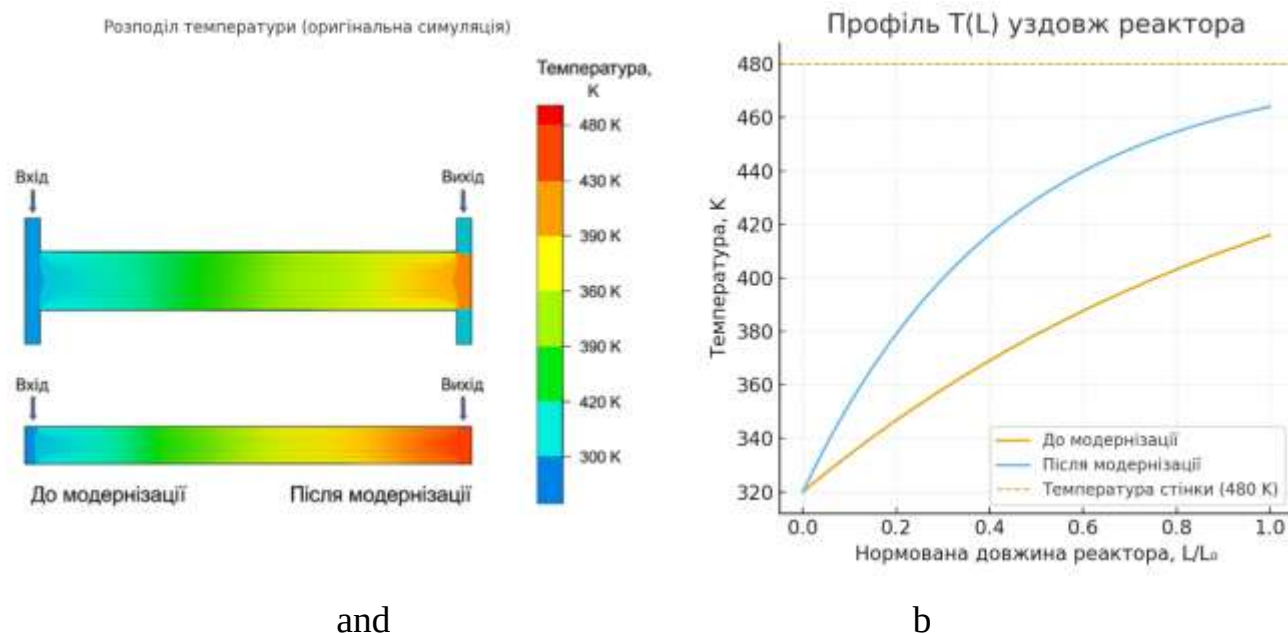


Figure 2 – Simulation:

a- comparison of the temperature field before and after the modernization; b - temperature dependence along the length of the reactor, $T(L)$ (normalized length $L/L_0 \in [0,1]$) before and after modernization.

The maximum tube wall temperature has decreased from 462 K to 446 K, which not only reduces the thermal loads on the reactor material, but also extends its service life. The helical baffles, located at 250 mm intervals, create a rotational motion of the cooling flow, which contributes to the formation of more intense turbulence.

Calculations showed that the level of turbulence in the intertube space increased from 8% to 22%, i.e. almost three times. This provides a more active renewal of the boundary layer and increases the rate of heat transfer from the tube walls to the cooler. (see Fig. 3)

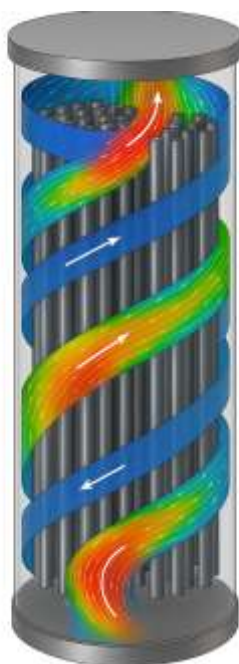


Figure 3 – Velocity field in the intertube space with helical baffles

At the same time, pressure losses in the system increased slightly - from 13.8 kPa to 14.5 kPa (by 5.1%), which is acceptable for industrial operation of the reactor. Thus, the modernization did not lead to a significant increase in energy costs for pumping the coolant, while maintaining the economic feasibility of the process.

The results obtained confirm that the modernized tubular reactor with 187 tubes (50 mm diameter and 9 m long) and a helical baffle system demonstrates a noticeable improvement in performance in all key parameters. In particular, the uniformity of the temperature field increases threefold, local overheating is practically eliminated, and the load on the catalyst is reduced.

The heat transfer coefficient increases by 30–35%, which ensures stability and controllability of the polymerization process.

In addition, the modernization helps reduce energy consumption for cooling by an average of 10–12%. Thanks to the possibility of using a hydropigging system for cleaning pipes without dismantling, equipment downtime is reduced by 20–25%, which has a positive effect on the economic performance of production.

Thus, the simulation conducted in SolidWorks Flow Simulation confirmed both the technical and economic effectiveness of the proposed reactor design improvements.

List of links

1. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Science and Technology" (September 22-24, 2025, Tallinn, Estonia). European Open Science Space, 2025. 150 p.
2. 2.Processes and devices of modern chemical technology: Textbook / V. I. Boyko, Yu. A. Shaforost. - Cherkasy: Publishing Department of the Chernivtsi National University, 2013. – 88p.

УДК 663.5

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА ВИРОБНИЦТВА ФЕНОЛУ ТА АЦЕТОНУ

Студент Швединський Д. О., асистент Подиман Г. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі наведено інформацію про фенол та ацетон є ключовими продуктами органічної хімії, що широко використовуються у виробництві полімерів, фармацевтичних препаратів та розчинників. Їхнє отримання передбачає комплекс багатостадійних процесів, серед яких критично важливу роль відіграє ректифікація з використанням дефлегматора. Вертикальний кожухотрубний дефлегматор забезпечує ефективне розділення парів суміші шляхом часткової конденсації, що дозволяє отримувати продукти високої чистоти та підвищити загальну ефективність технологічного процесу.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФЕНОЛ, АЦЕТОН, ВИРОБНИЦТВО, ДЕФЛЕГМАТОР, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК.

MODERNIZATION OF THE REFLUX CONDENSER FOR THE PRODUCTION OF PHENOL AND ACETONE

Student Shvedynsky D. O., Assistant Podyman H. S.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ABSTRACT: *This paper provides information about phenol and acetone, which are key products of organic chemistry, widely used in the production of polymers, pharmaceuticals, and solvents. Their production involves a complex of multi-stage processes, among which rectification using a reflux condenser plays a critically important role. A vertical shell-and-tube reflux condenser provides effective*

separation of mixture vapors by partial condensation, which allows obtaining high-purity products and increasing the overall efficiency of the technological process.

KEYWORDS: PHENOL, ACETONE, PRODUCTION, REFRACTION CONVERTER, SHELL-TUBE HEAT EXCHANGER.

Фенол є одним з ключових продуктів органічного синтезу. За звичайних умов це безбарвні кристали з характерним запахом. Його молекула поєднує ароматичне ядро та гідроксильну групу, що зумовлює специфічні хімічні властивості. Фенол проявляє слабкі кислотні властивості, утворює феноляти з лугами, вступає в реакції електрофільного заміщення. Фенол знаходить застосування в різних галузях промисловості. Він є ключовою сировиною для виробництва фенолформальдегідних смол, які використовуються при виготовленні пластмас, фанери та будівельних матеріалів. Значні обсяги фенолу спрямовуються на синтез бісфенолу А - основного компоненту для виробництва полікарбонатів та епоксидних смол. У фармацевтиці фенол служить сировиною для отримання лікарських засобів, зокрема аспірину. Також він використовується при виробництві антиоксидантів, поверхнево-активних речовин і як консервант для деревини [1,2].

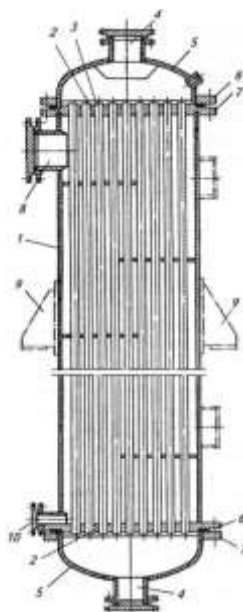
Ацетон - представник кетонів, безбарвна летка рідина з характерним запахом. Володіє високою здатністю до розчинення органічних сполук. Хімічно активний, вступає в реакції приєднання, конденсації, відновлення.

Ацетон має широке промислове застосування як універсальний розчинник. Він активно використовується у лакофарбовій промисловості для розчинення смол, мастик та лакових покриттів. Значну частину ацетону споживає хімічна промисловість для синтезу метилметакрилату - мономеру для виробництва органічного скла. Також ацетон застосовується у фармацевтичній та косметичній промисловості, при виробництві міцних клеїв, а в лабораторній практиці - як ефективний розчинник для миття хімічного посуду [3, 4].

Обидва продукти є стратегічно важливими для хімічної промисловості, а їх спільне отримання кумольним методом забезпечує економічну ефективність виробництва.

Вертикальний кожухотрубний дефлегматор є ключовим апаратом у системі ректифікації при виробництві фенолу та ацетону кумольним методом. Його основне завдання полягає у забезпеченні ефективного поділу вихідної суміші шляхом часткової конденсації парів та повернення флегми в колону [5].

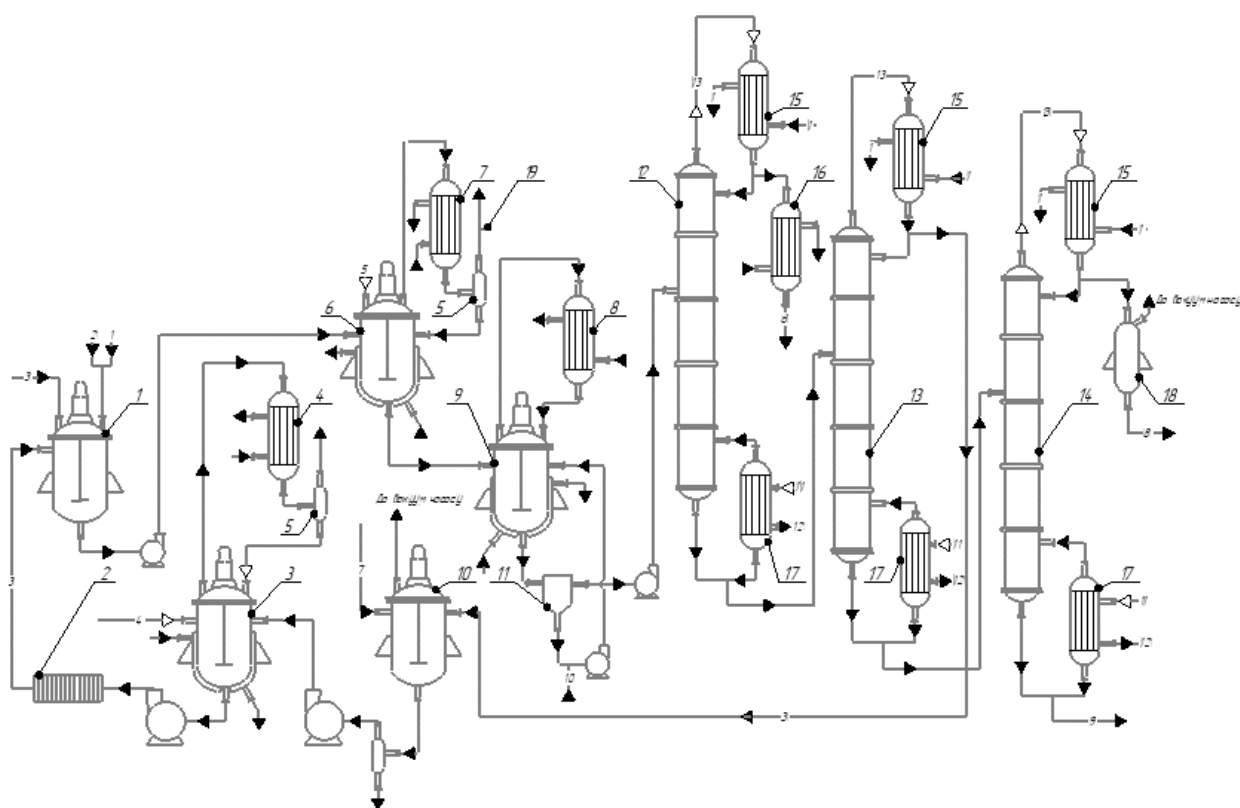
Апарат представляє собі вертикальний теплообмінник, у якому парова суміш надходить у міжтрубний простір, а охолоджуюча вода циркулює по трубах. Конструкція предсталає металевий циліндричний корпус в якому розташовані дві трубні решітки (дошки) 2 з паралельними нагрівальними трубками 3, кінці яких завальцьовані в решітках. Рідина, яка нагрівається підводиться і відводиться через штуцери 4, а гріюча пара подається через штуцер 8. З обох торців корпус закритий кришками 5 з фланцями 7. Ущільнення між трубними решітками і фланцями кришок досягається прокладками 6. Корпус для кріплення має опорні лапи 9. Конденсат зливають зі штуцера 10. Для покращення процесу теплообміну в міжтрубному просторі встановлені перегородки, які сповільнюють рух теплоносія [6].



1 – корпус, 2 – трубні решітки, 3 – нагрівальні трубки, 4, 8, 10 – штуцери,
5 – кришки, 6 – прокладки, 7 – фланці, 9 – опорні лапи

Рисунок 1 – Вертикальний кожухотрубний дефлегматор

На рисунку 2 показана технологічна схема виробництва фенолу та ацетону через гідроперекис ізопропілбензолу. В апараті 1 при інтенсивному перемішуванні готують емульсію ізопропілбензолу у воді. Для цього в апарат подають свіжий ізопропілбензол з цеху алкілування бензолу, зворотний ізопропілбензол, очищений гідруванням від а-метилстиролу, емульгатор (лаурилсульфат або натрію стеарат) і воду, в якій попередньо розчиняють карбонат натрію. Співвідношення свіжого та зворотного ізопропілбензолу приблизно 1:4. Емульсію ізопропілбензолу перекачують в апарат 6 для окиснення. Тут при 130°C через рідину під тиском пропускають повітря. Після того як у гідроперекис перетвориться близько 25% ізопропілбензолу, реакційну рідину направляють на розкладання сірчаною кислотою в апарат 9.



1 – ємульсор; 2 – фільтр; 3 – апарат для гідрування; 4,7,8,16 – теплообмінник; 5 – сепаратор; 6 – апарат для окиснення ізопропілбензолу; 9 – апарат для розкладу гідроперекису, 10 – апарат для омилення фенолу; 11 – розділювач; 11 – розділювач; 12,13,14 – ректифікаційна колона; 15 – дифлегматор; 17 – кип'ятильник; 18 – бак для фенолу; 19 - дросель

Рисунок 1 – Схема виробництва фенолу та ацетону через гідроперекис ізопропілбензолу

Розкладання гідроперекису ізопропілбензолу на фенол та ацетон протікає з виділенням великої кількості тепла (400 ккал на 1 кг гідроперекису). Швидкість реакції залежить від концентрації застосовуваної кислоти і гідроперекису. При пропущенні газоподібного сірчистого ангідриду через концентрований гідроперекис розкладання супроводжується вибухом. У присутності 1%-ної сірчаної кислоти розкладання триває 5 год, при використанні 10%-ної кислоти воно триває 1 год. Тому процес розкладання гідроперекису на фенол і ацетон у виробничих умовах проводять при

дотриманні відповідних запобіжних заходів (інтенсивне відведення реакційного тепла, застосування досить розведеної сірчаної кислоти і т. д.). Надлишкове тепло відводять у зворотному холодильнику 8.

З апарату 9 рідина перетікає розділювач 11; сірчана кислота, що відокремлюється, знову може бути використана для розкладання гідроперекису. Продукти реакції, що містять після виділення сірчаної кислоти: 8% ацетону, 14% фенолу, 76% непрореагованого ізопропілбензолу і до 2% домішок (а-метилстирол, ацетофенон та ін), направляють на ректифікацію. У ректифікаційній колоні 12 відганяють ацетон; в колоні 13 при розрідженні відганяють ізопропілбензол з домішками а-метилстиролу та фенолу. Ці домішки заважають нормальному перебігу реакції окиснення, тому ізопропілбензол піддають очищенню.

В апараті 10 його обробляють водним розчином лугу, в результаті чого фенол перетворюється на фенолят і перетворюється на розчин, який у розділювальному посудині відокремлюється від вуглеводневого шару. В апараті 3 через ізопропілбензол у присутності суспендованого металевого нікелю (каталізатор) пропускають водень. При цьому а-метилстирол гідрується в ізопропілбензол. Далі ізопропілбензол через фільтр 2 направляють на змішування зі свіжим ізопропілбензолом апарат 1.

Кубова рідина з колони 13 перетікає в колону ректифікації 14, де при розрідженні фенол відокремлюється від ацетофенону. Пари фенолу відводять з верхньої частини колони і кристалізують у приймачі 18. Кубова рідина з колони містить 14 головним чином ацетофенон.

На 1 т фенолу, що отримується за кумольним методом, витрачається 1,288 т ізопропілбензолу; при цьому додатково виходить близько 600 кг ацетону [7].

Ефективна робота дефлегматора безпосередньо впливає на якість продукції та економічні показники виробництва, що робить його модернізацію важливим напрямом удосконалення технологічного процесу.

Використані джерела:

1. Фенол [Електронний ресурс] // Covalent : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://www.covalent.com.ua/ru/shop/phenol/> (дата звернення 12.10.2025).
2. Що таке фенол: властивості та застосування [Електронний ресурс] // Systopt : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://www.systopt.com.ua/article-cto-takoe-fenol-svoystva-y-prymenenye> (дата звернення 12.10.2025).
3. Ацетон: властивості та характеристики [Електронний ресурс] // Systopt : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://www.systopt.com.ua/item-atseton> (дата звернення 12.10.2025).
4. Для чого потрібен ацетон: застосування та особливості [Електронний ресурс] // Systopt : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://www.systopt.com.ua/article-dlya-chego-nuzhen-aceton> (дата звернення 12.10.2025).
5. Кожухотрубні теплообмінники: конструкція та застосування [Електронний ресурс] // Opeks.ua : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://opeks.ua/ua/kozhuxotrubni-teploobminniki/> (дата звернення 12.10.2025).
6. Розрахунок параметрів кожухотрубного теплообмінного апарата. Методичні вказівки для студентів спеціальності 8.05050313 Обладнання переробних і харчових виробництв ОКР Бакалавр - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016 - 18 с.
7. Юкельсон І. І. Технология основного органического синтеза / И. И. Юкельсон. — М. : Химия, 1968. — 848 с.

УДК 678.023

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСТРУЗІЇ ХАРЧОВОЇ ПЛІВКИ З PLA: ВІД СИРОВИНИ ДО ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

А.Ю. Абасєв, М.П. Швед

Національний технічний університет України

«Київський Політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

03056, Київ, пр. Берестейський, 37, корп 19

ixf@kpi.ua

В умовах зростаючої екологічної свідомості та посилення вимог до зменшення пластикових відходів значної уваги набуває використання біорозкладних полімерів. Одним із найперспективніших матеріалів для виробництва харчової упаковки є полілактид (PLA) [1]. Він виготовляється з відновлюваних джерел, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина, та може повністю розкладатися в умовах промислового компостування.

Харчова плівка з PLA має ряд переваг перед традиційними нафтохімічними полімерами, такими як поліетилен (PE) та поліпропілен (PP):

- висока прозорість і блиск, що покращує презентацію продуктів;
- хороший бар'єр для запахів і жирів;
- відповідність вимогам щодо безпечності харчових упаковок;
- можливість компостування після використання, що зменшує негативний вплив на довкілля.

Разом з тим, процес екструзії PLA має свої технологічні особливості, пов'язані з його низькою термостійкістю, високою в'язкістю у розплавленому стані та необхідністю точного контролю температури. У цій роботі розглядаються основні температурні та швидкісні параметри екструзії харчової плівки з PLA, що впливають на якість кінцевого продукту.

Особливу увагу приділяють процесу підготовки сировини – висушування PLA перед екструзією, так як PLA є гігроскопічним полімером, тобто активно поглинає вологу з навколишнього середовища. Навіть незначна кількість води (понад 250 ppm) може спричинити гідроліз під час екструзії, що призведе до зменшення молекулярної маси, зниження в'язкості та погіршення механічних властивостей плівки (зниження міцності на розтяг, утворення газових бульбашок у плівці, зниження оптичної прозорості). Використовують адсорбційні сушарки з точкою роси -40°C або нижче, температурою сушіння: $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$, тривалістю 4–6 годин, при швидкості потоку осушеного повітря $1,8\text{--}2,5\text{ м}^3/\text{кг}$ PLA на годину.

PLA має вузький температурний діапазон переробки, тому точний контроль температури є критично важливим. Перегрів може викликати термічну деструкцію, а недостатнє нагрівання — проблеми з текучістю та формуванням плівки. PLA має псевдопластичну поведінку – в'язкість зменшується при збільшенні швидкості зсуву. При надто високій швидкості зсуву PLA може деградувати та втрачати механічні властивості. Тому важливо підібрати оптимальне співвідношення температури та швидкості обертання шнека.

Кафедрою машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв НТУУ «КПІ» було проведено дослідження з виробництва PLA плівки в екструзійній установці, яка розроблена на основі високоефективного та універсального каскадного дисково-шестеренчатого екструдера, що складається з дискового розплавлювача, черв'ячного екструдера-домішувача та дозуючого шестеренчастого насоса на основі методу екструзії рукава з роздуванням за схемою «знизу – нагору». Процес екструзії біо- та фоторозкладних плівок з PLA передбачає встановлення певних температурних і швидкісних параметрів для кожного етапу. В якості сировини було використано гранули Ingeo 2003D від компанії NatureWorks LLC. В процесі дослідження для забезпечення

оптимального плавлення та транспортування PLA Ingeo 2003D отримали наступний температурний профіль нашого екструдера (Табл.1):

Таблиця 1. Температурний профіль екструдера

Зона екструзії	Температура, °C
Зона подачі	185-190
Зона пластифікації	190-195
Зона компресії	195-205
Зона дозування	205-210
Матриця	210

За результатами досліджень розроблено номограму для визначення узгоджених режимів роботи каскадного дисково-шестеренного екструдера, для розплаву PLA Ingeo 2003D, приведена на рис. 1.

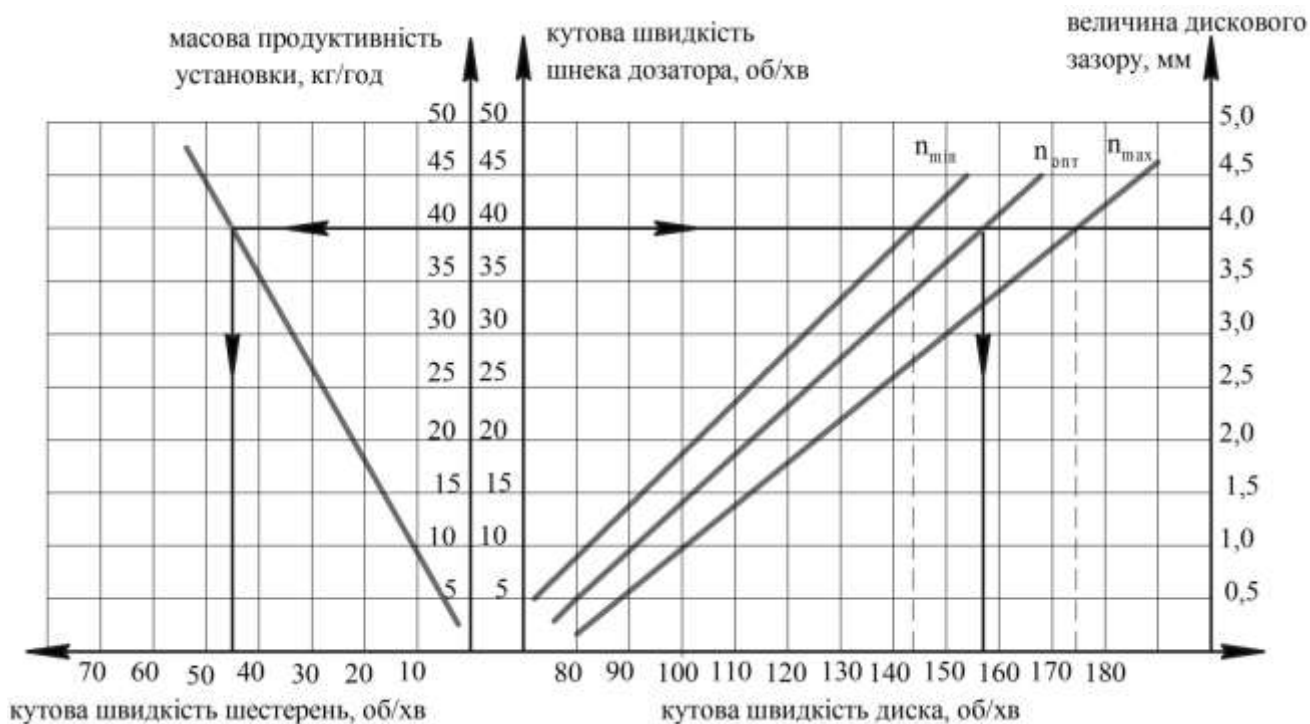


Рисунок.1. Номограма для визначення режимів роботи дисково-шестеренного екструдера

Система дозволяє гнучко керувати процесом екструзії. Хоча основні параметри (оберти шнека, насоса, екструдера та зазор) задаються згідно з продуктивністю, оператор може швидко впливати на температуру чи однорідність розплаву. Для цього не потрібно змінювати ні продуктивність, ні температуру в зонах обігріву — достатньо відкоригувати оберти та робочий зазор екструдера в межах 10%. Це забезпечує значну оперативну маневреність.

PLA Ingeo 2003D має псевдопластичну поведінку – в'язкість зменшується при збільшенні швидкості зсуву. При надто високій швидкості зсуву PLA може деградувати та втрачати механічні властивості. Тому важливо підібрати оптимальне співвідношення температури та швидкості подачі розплаву шестеренчастим насосом, що допомагає уникнути термодеструкції та отримати якісну плівку. Під час роботи отримали оптимальний температурний профіль для PLA Ingeo 2003D в діапазоні 185–210°C та оптимальну швидкість обертання шестерні дозуючого шестеренчастого насоса $n = 0,75$ об/с, при цьому опір формуючої головки склав $P = 25,3$ МПа, а продуктивність лінії $Q = 0,011$ кг/с.

Запропонована технологія дозволяє виробляти різноманітні екологічно безпечні плівки, корисні для виробників, споживачів та торгівлі. Ключовою перевагою є те, що виробництво біо- та фоторозкладних плівок можна легко інтегрувати в існуючі технологічні лінії без значних змін, що робить перехід на нові матеріали економічно вигідним. Одночасно вдосконалюються і традиційні матеріали: вони стають міцнішими, тоншими і легшими, з'являються нові види багаторазової упаковки [2]. Таким чином, біо- та фотополімери — це перспективний крок до стійкого розвитку в пакувальній галузі. Незважаючи на виклики, їхнє впровадження є важливим інструментом у боротьбі з забрудненням пластиком.

Література:

1. Замотаев П.В. Полимеры, разрушающиеся под действием природных

факторов // Упаковка – 1999. – №4. – С. 34–37.

2. Гавва О.М. Шляхи вдосконалення та розвитку технологій і обладнання пакування / Матеріали науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія». – Алушта, 2007. – С. 162-175.

УДК 66.062.53

ВИКОРИСТАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОПІДГОТОВКИ У ВИРОБНИЦТВІ СОКІВ

к.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: Авторами розглянуто можливість підвищення ефективності дегазації води в технологіях відновлення кислих соків за рахунок використання в циклі вакуумної дегазації інтенсифікуючого впливу гідродинамічної кавітації, яку запропоновано реалізовувати в кавітаційному апараті роторно-пульсаційного типу зі спеціально розробленою конструкцією.

ABSTRACT: The authors considered the possibility of increasing the efficiency of water degassing in acidic juice recovery technologies due to the use in the vacuum degassing cycle of the additional intensifying effect of hydrodynamic cavitation, which is proposed to be implemented in a specially designed rotary-pulsation type cavitation apparatus.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дегазація, вода, роторно-пульсаційний апарат

KEYWORDS: degassing, water, rotary pulsation apparatus

Вода є ключовим компонентом в технологіях виробництва харчових продуктів, оскільки використовується практично на всіх етапах. Якість її підготовки впливає на смакові характеристики продукту та термін його придатності. Одним з важливих етапів підготовки є вилучення з води розчинених газів. Цей процес набуває дедалі більшої актуальності в сучасній харчовій промисловості через зростаючі вимоги до якості та безпеки продукції. Особливо це стосується сфери виробництва соковмісних напоїв, вин, пива, відновлення різноманітних концентратів, молочних продуктів, консервів тощо. Присутність навіть незначної кількості O_2 чи CO_2 у воді при виробництві цих

продуктів викликає окислення органічних сполук, погіршення смакових якостей, кольору, консистенції продукту, створює умови розвитку шкідливої мікрофлори. В деяких видах виробництва, наприклад, в технологіях відновлення соків, молочних продуктів при розчиненні та змішуванні компонентів, присутність розчинених газів у воді спричиняє утворення піни, що також створює ряд проблем.

На сьогоднішній день в промислових умовах дегазацію води проводять переважно у вакуумних дегазаторах і рідше перевагу віддають мембранним технологіям. Така диференціація пояснюється високою вартістю мембранного обладнання, необхідністю системного очищення мембран та частотою їх заміни. Найменш затребуваною вважається термічна дегазація через високі енерговитрати. На основі проаналізованого, авторами розглянуто можливість підвищення ефективності процесу вакуумної дегазації води за рахунок використання у комплексі з нею роторно-пульсаційного апарату. Ефективність пропонованого підходу оцінювали на основі концентрації залишкового кисню.

Методи. Аналіз та дослідження проводились з використанням методичних підходів.

Результати показали ефективним використання роторно-пульсаційного апарату в комплексі з вакуумною дегазацією за динамікою зниження концентрації кисню з 5.6 до 2.0 мг/л. Для порівняння, при обробці вакуумною дегазацією зниження становило до 4.7 мг/л за аналогічний час обробки. Рекомендованим є цикл обробки протягом 4 хвилин з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа.

Висновки. Доведено ефективність використання кавітаційного апарату роторно-пульсаційного типу в комплексі з вакуумною дегазацією на прикладі відновлення кислих соків.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

бакалавр Семенов Д.П., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто три патенти, які описують методи модернізації традиційного випарного апарату з низхідною плівкою. Проаналізовано їх принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, МАСООБМІН, ВИПАРНИЙ АПАРАТ З НИЗХІДНОЮ ПЛІВКОЮ, ПОТІК.

Розглянемо патент CN120324925A [1], який описує плівковий випарник та його розподільник (рисунк 1). Головною його патенту є створення пристрою, який би забезпечив рівномірне та стабільне формування рідинної плівки на внутрішній стінці теплообмінної труби, що є запорукою ефективного випаровування.

Випарник складається з трьох основних частин:

1. Секція подачі (10) розташована у верхній частині, має вхід для рідини (11) та вхід для пари (12)
2. Секція нагріву (20) містить численні випарні труби (21). Усередині цих труб встановлений розподільник (22).
3. Секція розділення (30) розташована внизу та відповідає за відділення пари від концентрованої рідини.

Під час роботи рідина надходить у спіральну головку, її обертання та відцентрова сила формують рівномірну плівку на стінках. Одночасно гаряча пара, що рухається вниз, підштовхує цю плівку, що робить її більш стабільною та безперервною

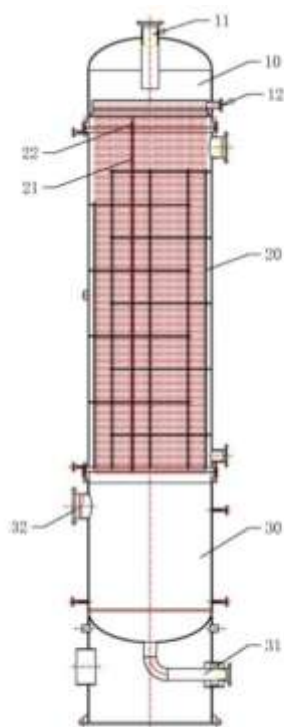


Рисунок 1 – Плівковий випарник та його розподільник

Перевагами винаходу є висока рівномірність плівки за рахунок відцентрової сили, що забезпечує рівномірність покриття внутрішніх стінок труби рідиною. Спільний рух пари та рідини в одному напрямку підсилює процес випаровування та запобігає розриву плівки.

Серед недоліків варто виділити складну будову розподільника через велику кількість рухомих частин. Також робота випарнику значною мірою залежить від потоку пари, оскільки при його нестабільності можуть виникнути проблеми в роботі апарату.

Патент CN120393469A [2] описує випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та видалення легких компонентів (рисунок 2). Цей випарний апарат застосовується в хімічній промисловості для виробництва полімерів і призначений для видалення залишкових летких компонентів — мономерів та розчинників — із полімерного розплаву. Конструкція складається з кожухотрубного нагрівача, де матеріал розплавляється та нагрівається, і основного корпусу випарника, з'єднаного з вакуумною системою. Усередині

корпусу встановлені багатоярусні гратчасті пластини з отворами, щільність яких поступово зменшується від верхніх шарів до нижніх.

У процесі роботи розплавлений полімер стікає по гратчастих пластинах, формуючи тонку плівку, що створює велику поверхню для випаровування летких компонентів. У вакуумному середовищі мономері та розчинники інтенсивно видаляються, а очищений полімер накопичується внизу для подальшої переробки. Така багатоярусна конструкція забезпечує тривале перебування розплаву в апараті та підвищує ефективність очищення без значного збільшення енергоспоживання.

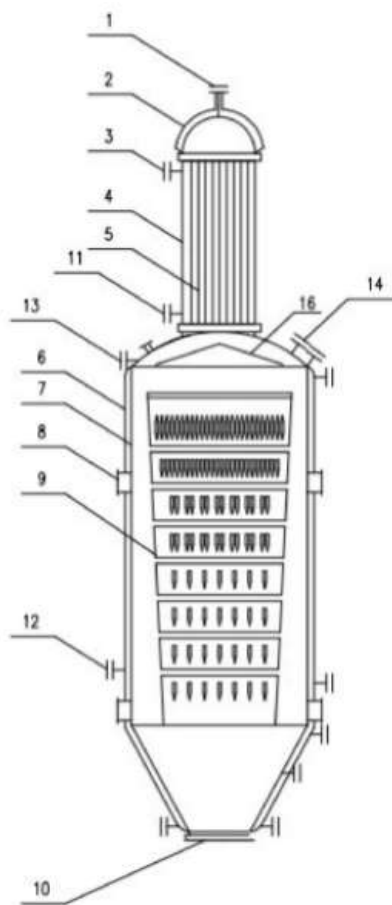


Рисунок 2 – Випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та видалення легких компонентів

Перевагами патенту є висока ефективність завдяки гратчастим пластинам, що дозволяють збільшити площу теплообміну і видалення легких компонентів.

Гратчаста система забезпечує рівномірний розподіл полімеру усуваючи мертві зони.

Серед недоліків варто зазначити складність конструкції як при виготовленні, так і монтажу. В свою чергу це збільшує вартість апарату у порівнянні з аналогами.

Патент CN119733255A [3] описує інтелектуальний пристрій для розподілу рідини у плівковому випарнику (рисунок 3). Головною особливістю у порівнянні з традиційними конструкціями є вирішення проблеми розподілу рідини. Ключовою проблемою традиційних плівкових випарників є покладання на гравітацію або на прості розподільчі тарілки. Якщо ж потік сировини нестабільний, то рідина розподіляється нерівномірно: деякі випарні труби отримують забагато рідини (утворюється товста плівка, що знижує теплообмін), а інші — замало (плівка рветься або висихає, що призводить до перегріву та утворення накипу).

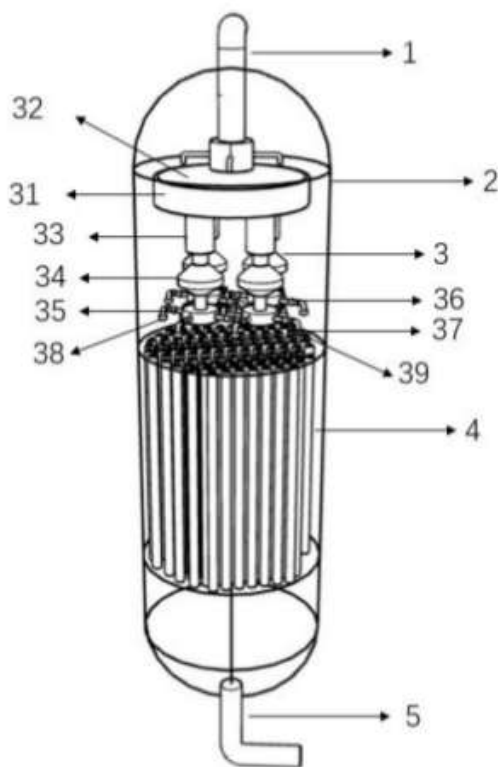


Рисунок 3 – Плівковий випарник з інтелектуальним пристроєм для розподілення

Пристрій являє собою багатоступеневу систему розподілу рідини в корпусі випарника, що складається з трьох послідовних блоків. Спочатку рідина надходить у первинний розподільний піддон, де формується рівномірний шар і згладжуються коливання потоку, після чого вона проходить крізь отвори вниз. Далі рідина потрапляє до підсилювального блоку, де насос зі змінною частотою підвищує тиск, роблячи подальший розподіл більш стабільним та контрольованим.

Ключовою частиною є інтелектуальний блок розподілу: рідина під тиском накопичується в піддоні та через систему труб із витратомірами й регулюючими клапанами подається до випарних труб. ПІД-контроль постійно коригує відкриття клапанів на основі показів витратомірів, забезпечуючи оптимальну подачу в кожну трубу. Це дозволяє формувати рівномірну плівку на стінках і підтримувати високу ефективність випарювання.

Перевагами технології є автоматичне коригування потоку без необхідності в зупинці апарату. Первинний і підсилювальний блок роблять систему нечутливою до нестабільного вхідного потоку рідини. Пристрій здатен регулювати потік у кожній із труб не допускаючи «переливу» та «висушування» потоку.

Серед недоліків варто виділити високу вартість у виготовленні пристрою пов'язану з необхідністю великої кількості датчиків, сенсорів, контролерів. При цьому цю всю електроніку потрібно тримати в чистоті та захистити від впливу агресивних речовин. В результаті відбуватиметься засмічення дрібними частинками в рідині, кристалізація окремих елементів на електроніці, що зменшить точність контролю та погіршить автоматичне регулювання.

Висновок: Патенти, що стосуються плівкових випарників зосереджені на досягненні ідеальної стабільності та рівномірності рідинної плівки. Інноваційні

рішення поділяються на два напрямки: використання обертових спіральних головок та керованих потоків пари для формування ідеальної плівки та боротьби з накипом та автоматизовані у вигляді систем ПІД-контролю, які використовують насоси-підсилювачі та індивідуальні витратоміри з клапанами для корекції потоку в режимі реального часу. Обидва підходи відходять від залежності від гравітації та ручного налаштування, забезпечуючи безперервну роботу та низьку участь оператора в процесі.

Список використаної літератури:

1. LYU Haiyong, ZHANG Jingyi та ін. Falling film evaporator and distributor thereof : пат. CN 120324925A / ZHEJIANG BOKÉ HEAT EXCHANGE TECH CO Ltd. — Китай. — № CN 202510502186A; заявл. 21.04.2025; опубл. 18.07.2025.
2. SUN Jianfeng, XIAO Daming та ін. Evaporator for continuous melt polymer heating falling film light component removal : пат. CN 120393469A / CHINA TIANCHEN ENG CORP. — Китай. — № CN 202510566868A; заявл. 30.04.2025; опубл. 01.08.2025.
3. WANG Tao, FANG Mengxiang та ін. Intelligent liquid distribution equipment for falling-film evaporator and use method of intelligent liquid distribution equipment : пат. CN 119733255A / UNIV ZHEJIANG; XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — Китай. — № CN 202510027779A; заявл. 08.01.2025; опубл. 01.04.2025.

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 наведено дослідження процесу створення сонцезахисного засобу SPF (з англ. Sun Protection Factor). Обґрунтовано вибір основних компонентів крему та визначено оптимальну концентрацію активних речовин, що забезпечують ефективний захист шкіри від ультрафіолетового випромінювання. Розглянуто актуальність і доцільність розроблення засобів із високим рівнем SPF.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СОНЦЕЗАХИСНИЙ КРЕМ (SPF), ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ЕМУЛЬСІЯ, РЕАКТОР-ЗМІШУВАЧ, ПЕРЕМІШУВАННЯ, ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ.

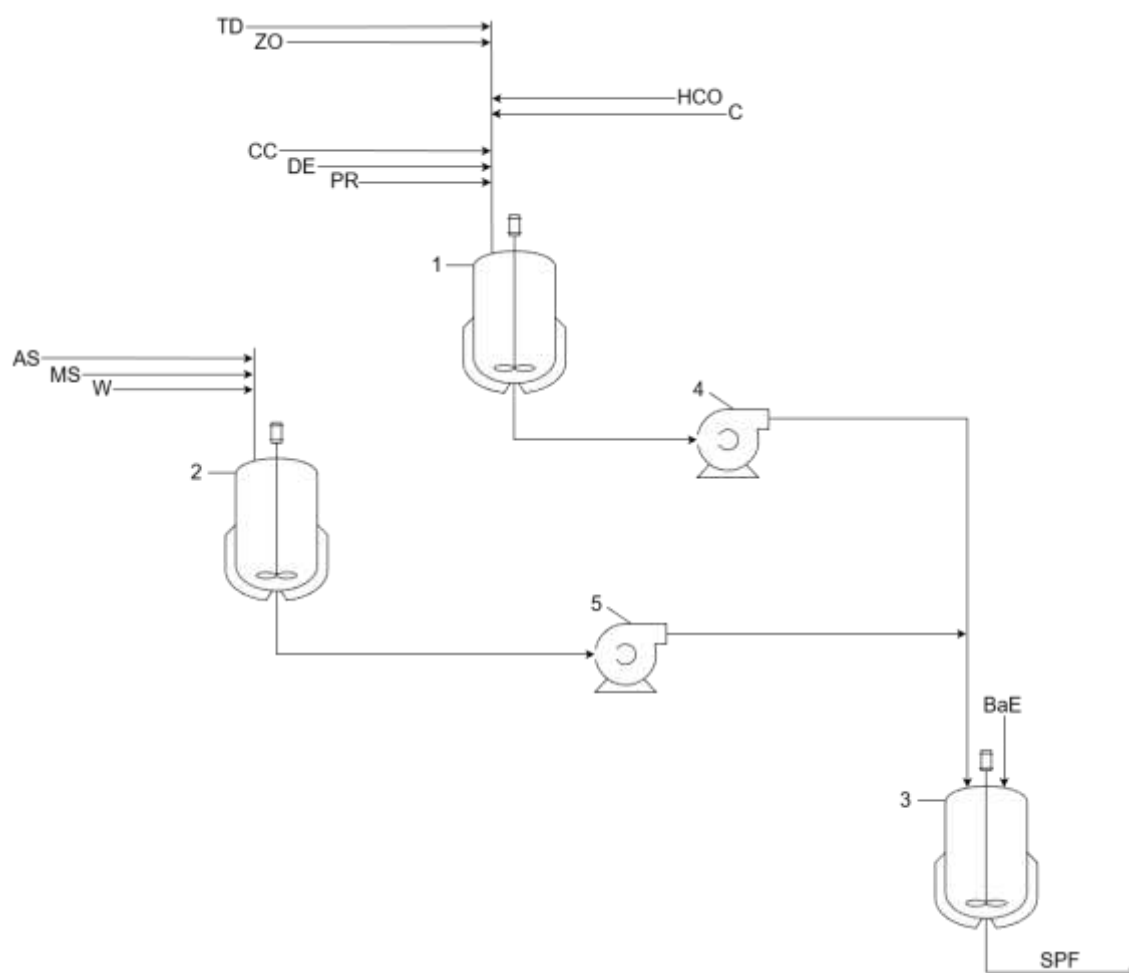
Сонцезахисний крем (SPF) широко застосовується у косметичній та дерматологічній галузях. Його використовують для захисту шкіри від шкідливого ультрафіолетового (УФ) випромінювання типу А (UVA) і В (UVB). Також сонцезахисні засоби мають велике значення у медицині та побуті для запобігання сонячним опікам, фотостарінню та зниженню ризику раку шкіри.

Існує 2 основних типи сонцезахисних засобів: на основі хімічних фільтрів (поглинають УФ-промені та перетворюють їх на тепло) та на основі мінеральних (фізичних) фільтрів (відбивають та розсіюють УФ-промені). Мінеральні фільтри вважаються більш безпечними та стабільними, оскільки, на відміну від хімічних аналогів, вони не проникають у шкіру та рідше викликають алергічні реакції.. [1]

Саме тому розроблена в даній роботі композиція базується на мінеральних фільтрах. В якості УФ-фільтрів виступає комбінація Оксиду цинку (10) та Діоксиду титану (11).

Технологічно, крем являє собою емульсію – дисперсну систему з двох або більше рідин, що не змішуються. Для створення стабільного крему використовують процес емульгування за допомогою спеціальних речовин (емульгаторів). Даний продукт є зворотною емульсією (W/O), де краплі Водної Фази (W) дисперговані у суцільній Масляній Fazі (O).

Схема установки для виробництва W/O SPF крему представлена на рисунку 1.



1 — Реактор-змішувач (для Масляної Фази); 2 — Реактор-змішувач (для Водної Фази); 3 — Реактор-змішувач (для емульгування); 4 — Насос (подачі Масляної Фази); 5 — Насос (подачі Водної Фази)

У Реактор-змішувач (1), що оснащений сорочкою нагріву, завантажуються компоненти Масляної Фази: (TD) Дисперсія діоксиду титану, (ZO) Оксид цинку, (HCO) Гідрогенізована рицинова олія, (C) Кокогліцериди, (CC) Коко-каприлат, (DE) Дикаприліловий ефір та (PR) Полігліцерил-3 рицинолеат. Вміст нагрівається та перемішується до повного плавлення твердих компонентів та досягнення однорідної суспензії.

Паралельно у Реактор-змішувач (2) (також з нагрівом) завантажуються компоненти Водної Фази: (W) Вода, (MS) Сульфат магнію та (AS) SPF-бустер. Вміст перемішується до повного розчинення солей, диспергування бустера та нагрівається до тієї ж температури, що й Масляна Фаза (для гарячого процесу).

По готовності обидві фази подаються до Реактора-змішувача (3), який є об'єктом дослідження. Гаряча Масляна Фаза з Реактора (1) за допомогою Насоса (4) подається у Реактор (3). Одразу після цього, гаряча Водна Фаза з Реактора (2) повільно подається Насосом (5) у Реактор (3), де відбувається процес змішування фаз (емульгування).[2]

Після завершення змішування, у Реакторі (3) вмикається сорочка для охолодження. При досягненні температури $\sim 40^{\circ}\text{C}$ в отриману емульсію додається (BaE) Бензиловий спирт та Етилгексилгліцерин. Готовий продукт (SPF) вивантажується з Реактора (3) на фасування.

Аналіз технологічного процесу показав, що ключовим етапом виробництва сонцезахисного крему є процес емульгування у Реакторі-змішувачі (3), де відбувається об'єднання масляної та водної фаз. Якість кінцевого продукту критично залежить від ефективності перемішування, яке повинне забезпечити:

- рівномірне диспергування водної фази у масляній;
- стабільність емульсії типу В/М;
- однорідний розподіл мінеральних УФ-фільтрів (ZnO та TiO_2);
- запобігання седиментації твердих частинок.

Отже, існуюче обладнання не повністю задовольняє вимоги технологічного процесу, що призводить до нестабільності емульсії та нерівномірного розподілу активних компонентів. Тому актуальним завданням є розробка модернізованого перемішуючого пристрою для Реактора-змішувача (3), який забезпечує оптимальні гідродинамічні умови для отримання високоякісного сонцезахисного крему з $SPF > 30$.

Використані джерела:

1. Lowe N. J., Shaath N. A., Pathak M. A. Sunscreens: Development, Evaluation, and Regulatory Aspects. 2nd ed. CRC Press, 1996.
2. Guardado Yordi, E.; Guambuguete Guaman, I.S.; Freire Fuentes, M.E.; Radice, M.; Scalvenzi, L.; Abreu-Naranjo, R.; Bravo Sánchez, L.R.; Pérez Martínez, A. Conceptual Design of the Process for Making Cosmetic Emulsion Using Amazonian Oils. Processes 2025, 13, 1770. <https://doi.org/10.3390/pr13061770>
3. Kalichem Sunscreen Formulations Book. URL:<https://www.kalichem.it/wp-content/uploads/2022/11/KALICHEM-SUNSCREEN-FORMULATIONS-BOOK.pdf>... (дата звернення: 20.11.2025).

УДК 678.027.3:519.876.5:532.135

FEATURES OF THE VALUE OF SLIP DEFORMATION CALCULATING WHEN USING THE STEPWISE APPROXIMATION

Ph.D. student Trachuk Y. V., Ph. D., associate professor Shved M. P.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The calculation scheme for determining the amount of accumulated deformation when a polymer passes through the flat gap of a disc extruder is considered. The nature of the dependence of the amount of accumulated deformation on the technological parameters of the process using mathematical models of Newtonian and non-Newtonian fluids is analyzed. The correctness of the selected method for calculating the average shear deformation is confirmed.*

KEY WORDS: DISK EXTRUDER, CLEARANCE BETWEEN DISKS, STEP APPROXIMATION, AMOUNT OF SHEAR STRAIN

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЇ ЗСУВУ ПРИ ЗАСТОВУВАННІ СТУПЕНЕВОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

аспірант Трачук Є. В., к.т.н., доц. Швед М. П.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто розрахункову схему визначення величини накопиченої деформації при проходженні полімером плоскощільного зазору дискового екструдера. Проаналізовано характер залежності величини накопиченої деформації від технологічних параметрів процесу при використанні математичних моделей ньютонівської та неньютонівської рідин. Підтверджено коректність обраного методу розрахунку середньої деформації зсуву*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИСКОВИЙ ЕКСТРУДЕР, ПЛОСКОЩІЛИННИЙ ЗАЗОР, СТУПЕНЕВА АПРОКСИМАЦІЯ, НАКОПИЧЕНА ДЕФОРМАЦІЯ ЗСУВУ

Розглянемо процес руху полімеру у плоскощільному зазорі дискового екструдера. Матеріал рухається від периферії робочого зазору до вісі симетрії. Процес течії у плоскощільному зазорі є вісесиметричним. Враховуючи це та застосовуючи метод ступеневої апроксимації [1, с. 51] доцільно розділити робочий об'єм на смуги товщиною dr , котрі у свою чергу поділяються на елементи товщиною dr і шириною dz , рисунок 1.

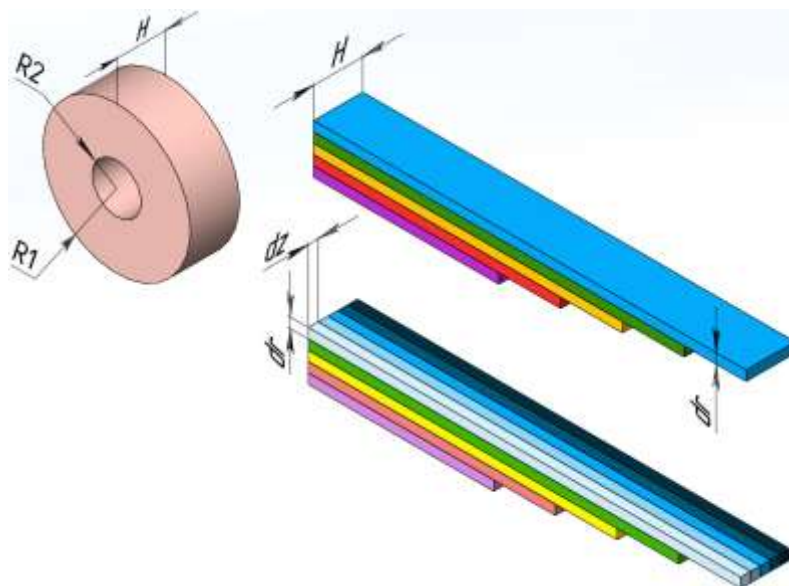


Рисунок 1 – Схема розбиття плоскощільного зазору на розрахункові елементи

У випадку прийнятої розрахункової схеми продуктивність кожної смуги товщиною dr є однаковою і дорівнює Q . Тоді з очевидних геометричних міркувань продуктивність кожного елемента товщиною dr і шириною dz визначається рівнянням

$$\Delta Q_i = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot dz \cdot V_{ri} \quad (1)$$

Час перебування матеріалу при умовах, що діють всередині елемента, розраховується за допомогою наступного рівняння:

$$t_i = \frac{dr}{V_{ri}} \quad (2)$$

У дисковому екструдері найбільш суттєвою є зміна параметрів по ширині каналу. Тому найбільше значення матимуть похідні $\dot{\gamma}_r = dV_r/dz$ та $\dot{\gamma}_\tau = dV_\tau/dz$. [1, 2] За відомих швидкості потоку і часу перебування перероблюваного матеріалу в змішувачі t деформація зсуву легко розраховується за формулою

$$\gamma = \dot{\gamma} \cdot t, \quad (3)$$

де t – тривалість зсуву, с.

Відповідно до граничної умови про прилипання, швидкість матеріалу на стінках приймається рівною нулю. Таким чином, практично у будь-якому змішувачі неперервної дії матеріал у стінок сприймає значно більші зсувні деформації, аніж матеріал у центрі потоку. [3]

Однак через малу швидкість, шари біля стінок характеризуються малою продуктивністю, відповідно, вони мають незначний вплив на загальну якість змішування в екструдері. Тому середню деформацію зсуву у матеріалі слід розрахувати не як середнє арифметичне, а за допомогою рівняння

$$\gamma_{\text{ср}} = \sum_i \frac{\Delta Q_i \cdot \gamma_i}{Q} \quad (4)$$

При моделюванні руху рідини в плоскощільному зазорі із застосуванням моделі ньютонівської рідини та з використанням модифікованого реологічного рівняння другого порядку у формулюванні Рівліна-Еріксена [4] було виявлено значні відмінності в характері залежності деформації зсуву від радіуса (рисунок 2).

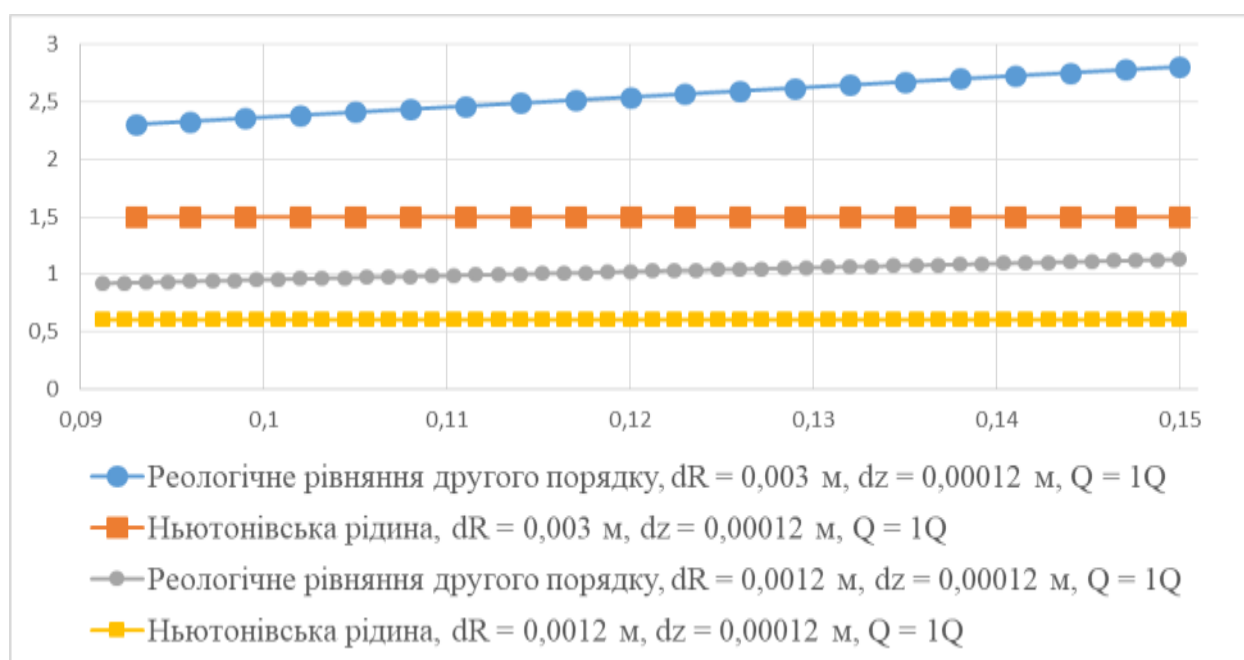


Рисунок 2 – Залежність деформації зсуву в радіальному напрямку залежно від радіуса та величини кроку розрахунку в радіальному напрямку dR

Як видно з рисунка 2, при застосуванні моделі ньютонівської рідини деформація зсуву не залежить від значення радіуса і дорівнює певній константі, котра залежить від величини dR . Після підстановки рівнянь 1-3 в рівняння 4 та подальших спрощень стає очевидним, що ця константа залежить від величини кроку ΔR та описується рівнянням

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ср}} &= \sum_i \frac{\Delta Q_i \cdot \gamma_i}{Q} = \sum_i \frac{2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot dz \cdot V_{ri} \cdot \dot{\gamma}_i \cdot t_i}{Q} = \\ &= \sum_i \frac{2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot dz \cdot V_{ri} \cdot \frac{3 \cdot Q}{\pi \cdot R_i \cdot H^3} \cdot |2z_i - H| \cdot \frac{dR}{V_{ri}}}{Q} = \\ &= \sum_i \frac{6 \cdot |2z_i - H| \cdot dR \cdot dz}{H^3} \end{aligned} \quad (5)$$

З наведеного рівняння також видно, що при застосуванні моделі ньютонівської рідини величина накопиченої деформації не залежить від продуктивності екструдера, що викликає сумніви у коректності такого результату.

При розрахунку з урахуванням в'язкопружних властивостей на якість змішування впливає як значення радіуса, при якому визначається деформація зсуву, так і продуктивність (рисунок 3).

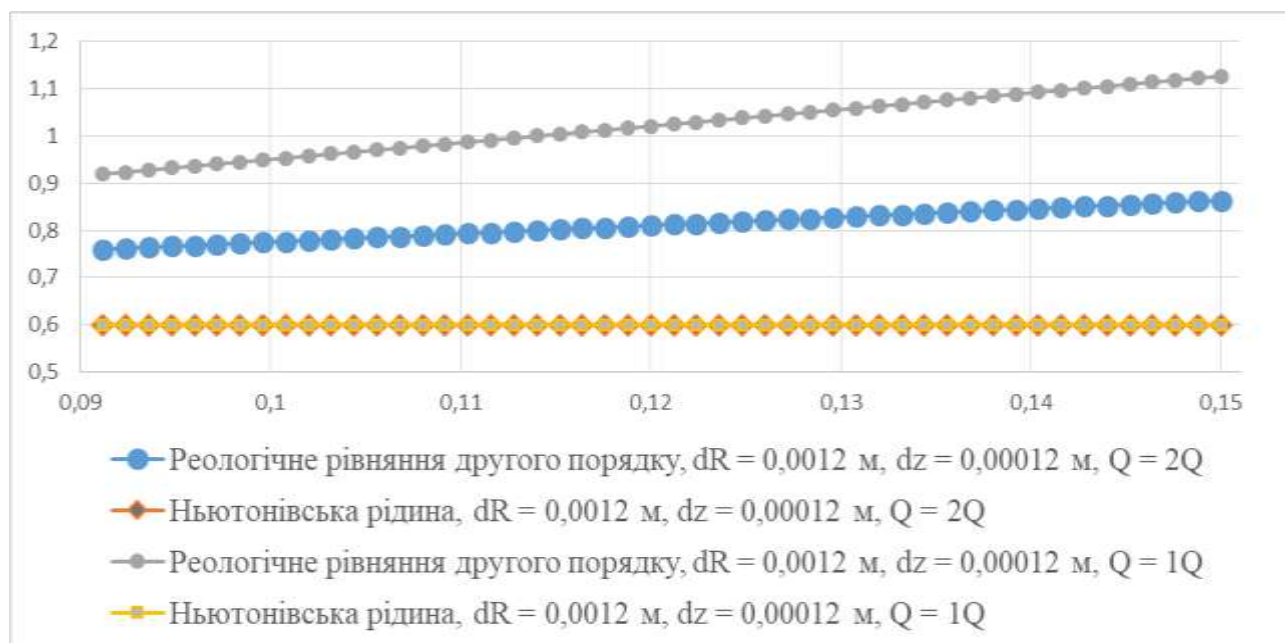


Рисунок 3 – Залежність деформації зсуву в радіальному напрямку залежно від радіуса та продуктивності

Варто відмітити, що при різних значеннях кроків dz та dR результати розрахунків прямують до одного певного значення (рисунок 4), що підтверджує коректність обраного методу розрахунку середньої деформації зсуву.

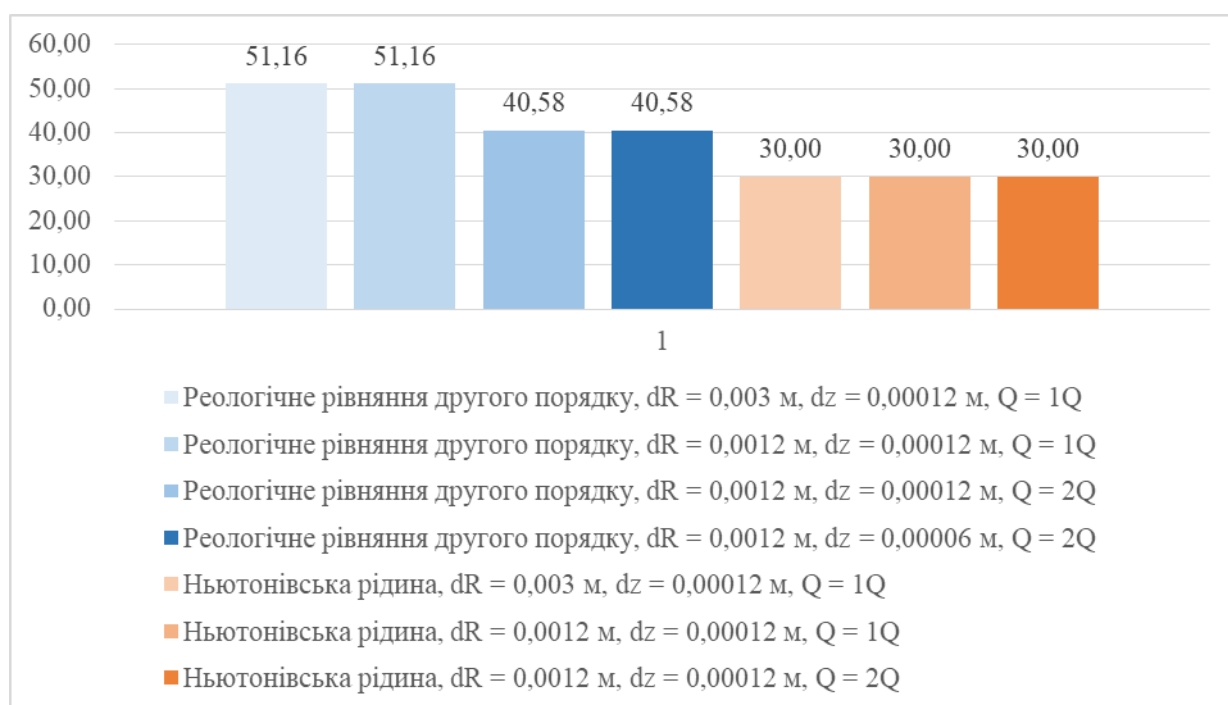


Рисунок 4 – Результати розрахунку із застосуванням різних моделей рідини, продуктивностей та величини кроку розрахунку dR і dz

Перелік посилань:

1. Радченко Л. Б. Переробка термопластів методом екструзії. Київ: ІЗМН, 1999. 220 с.
2. Мікульонок І. О., Радченко Л. Б. Моделювання дискових екструдерів для перероблення полімерних матеріалів: монографія. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 103 с.
3. Rauwendaal C. Polymer Extrusion. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 с.
4. Кузяев, И. М., Свидерский В. А., Петухов А. Д. Моделирование экструзии и экструдеров при переработке полимеров. Часть 2. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 276 с.

UDC665.777.4

**MODERNIZATION OF COKE PRODUCTION PLANT WITH
DEVELOPMENT OF DRUM DRYER AND CYCLONE**

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

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANNOTATION: *The use of coke in the chemical industry is described and characterized.*

KEYWORDS: COKE, COKE CHEMICAL INDUSTRY, COKE USES, FUEL, CHAMBER FURNACES.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КОКСУ З
РОЗРОБКОЮ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ ТА ЦИКЛОНУ**

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

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Описано і характеризовано використання коксу в хімічній промисловості.*

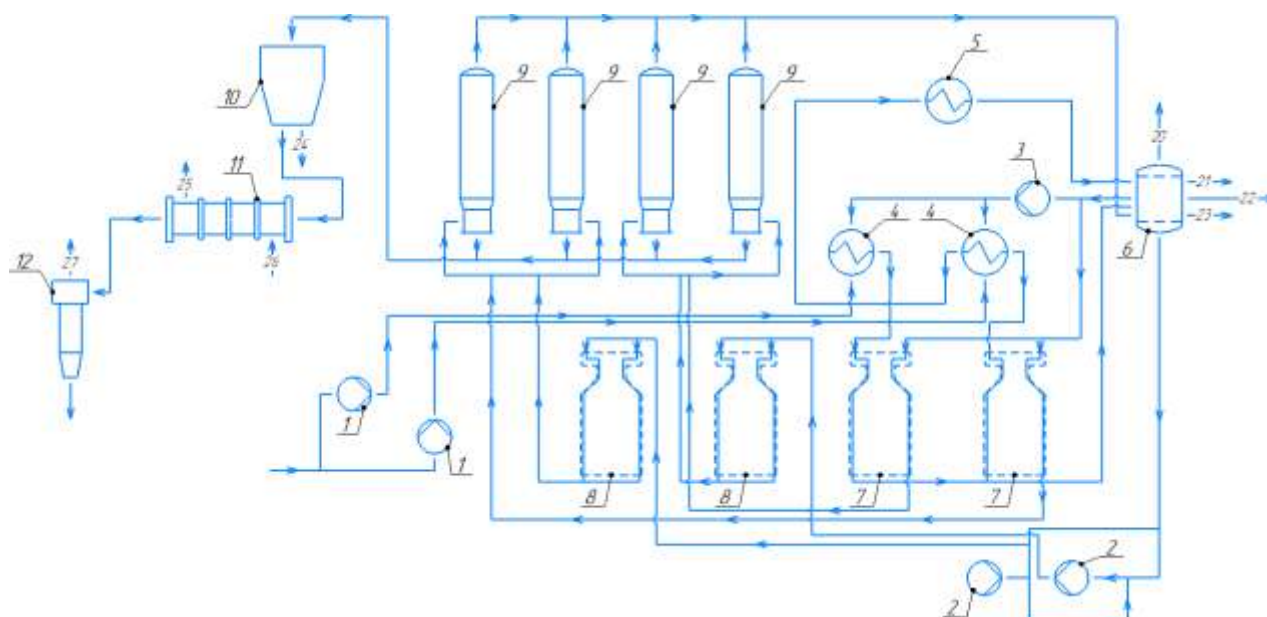
КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОКС, КОКС ХІМІЧНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, КОКС ВИКОРИСТАННЯ, ПАЛИВО, КАМЕРНІ ПЕЧІ.

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 residuesoil. It is used: in the production of anodes for aluminum smelting, special graphitized electrodes for electrolytic steel production, etc. Degassed oil, residues of primary processing are used as raw materials for petroleum coke.fuel oils, semi-tars and tars, secondary products origin – cracking residues, heavy gas oil catalytic cracking, pyrolysis resins, as well as natural asphalts and oil residues production (asphalts, extracts[1].

Uses as a reducing agent. Coke reacts with the oxygen in iron ore (iron oxide) to form carbon monoxide, which in turn reduces the iron oxide to (iron). This chemical process is necessary to convert iron ore into molten iron. The carbon in coke also helps form the chemical bonds needed to reduce iron from the ore [2].

Description of the technological scheme of coke production [3].

The coke production scheme is shown in Fig. 1.



1,2,3 – pumps, 4 – heat exchangers, 5 – refrigerator, 6 – distillation column, 7 – right pair of furnaces, 8 – right pair of furnaces, 9 – coke chambers, 10 – centrifuge, 11 – drum dryer, 12 – cyclone. 20 – gas, 21 – gasoline, 22 – jet fuel, 23 – diesel fuel, 24 – liquid, 25 – cooled heat agent, 26 – hot heat agent, 27 – purge gas.

Fig. 1. Technological scheme of coke production

The raw material is fed in two parallel streams by pumps 1 into recuperative heat exchangers 4, where it is heated to a temperature of 425 °C, enters the right pair of furnaces 7, 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 column 6, the bottom residues are fed by pumps 2 into furnace 8, where they are heated again to a temperature of 520 °C and through distribution valves are fed in pairs into columns 9 (coke column). While one pair of columns 9 is being filled, the process of coke

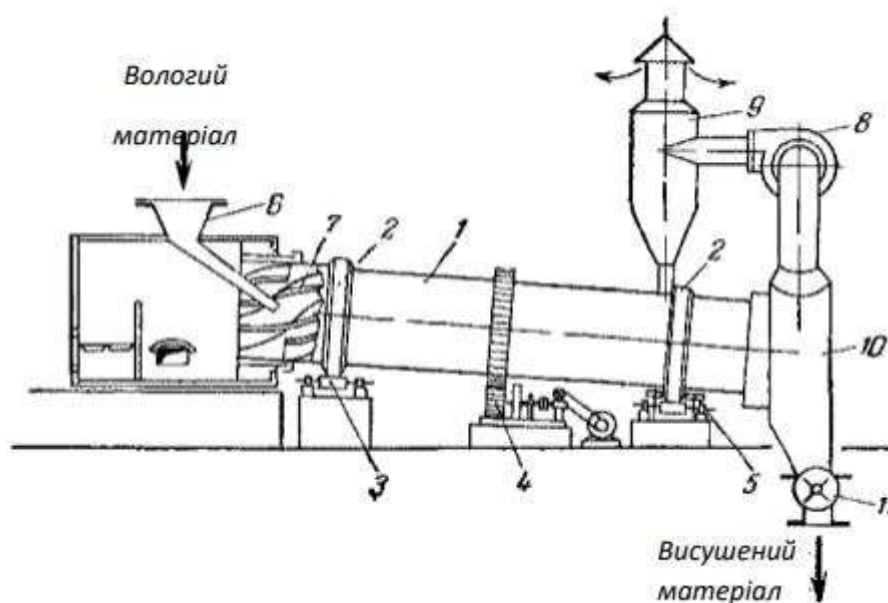
formation is underway in the second pair. Before unloading the coke, the chambers are gradually cooled to a temperature of 400 °C, and the steam is returned back to the rectification column 6.

Now the coke is sent to centrifuge 10 to be dehydrated, at the exit of the centrifuge we get dehydrated coke, and liquid 24. After that dehydrated coke enters the drum dryer 11 where the drying process takes place in parallel; for this purpose, a hot heat agent is supplied to the drum dryer.

26. At the exit of the dryer, we will receive the output of dry coke and cooled heat agent 25. And finally, the starting material enters the cyclone 12, where an additional drying process takes place and moisture is separated from the input material and the output of the cleaning gas 27 is released, in parallel with this, the dried coke exits the cyclone.

Choice of device type and design

The design diagram of the drum dryer is shown in Fig. 2 [4].

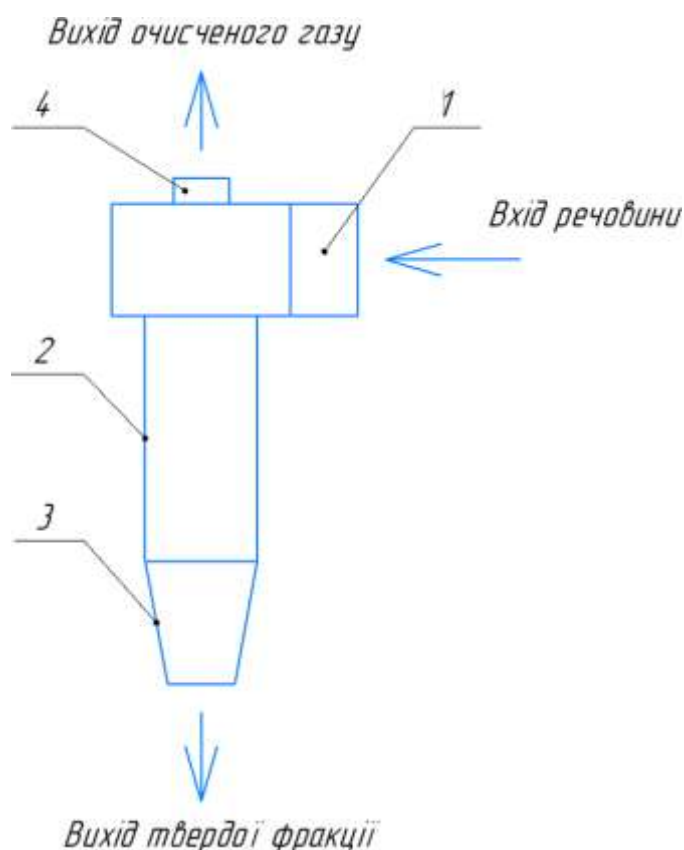


1 – drum; 2 – bands; 3 – support rollers; 4 – gears; 5 – support-thrust rollers;
6 – feeder; 7 – blades; 8 – fan; 9 – cyclone; 10 – unloading chamber; 11 – unloading device.

Fig. 2. Design diagram of a drum dryer

The drum dryer is installed to dry the input material, namely petroleum coke. The principle of operation of this device begins with the fact that the cylindrical drum 1 is supported by means of bandages 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 a nozzle located along almost the entire length of the drum. The nozzle ensures uniform distribution and good mixing of the material across 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.

The cyclone design diagram is shown in Fig. 3 [5].



1 – inlet pipe; 2 – cylindrical part of the housing; 3 – conical part of the housing;
4 – exhaust pipe;

Fig. 3. Cyclone design diagram

The main elements of the cyclone are the housing, which consists of a cylindrical part 2 and a conical part 3, a pipe for removing the purified gas 4 and a dust collection hopper, which is attached to the lower part of the housing. The gas enters the upper part of the housing 2 through the inlet pipe, installed tangentially. The dusty flow moves along a curved trajectory. As a result, a centrifugal force arises, which acts along the radius and causes the deposition of solid particles on the inner surface of the cylindrical part 2 of the housing and their movement along a spiral into the conical part of the cyclone 3, and then to the hopper [5].

List of links:

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%81 from 19.10.25
2. <https://jinsuncarbon.com/uk/%D1%8F%D0%BA%D0%B0-%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C-%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%81%D1%83-%D0%B2-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%83%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%83-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5/> from 19.10.25
3. Ivanytskyi G. K., Stepaniuk A. R. Processes and equipment for deep processing of organic raw materials: Lecture notes, textbook. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. 292 p. from 19.10.25
4. Stepaniuk A. R., Gusarova O. V. Chemical production equipment: practical training manual. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. 152 p. from 20.10.25
5. Kornienko Ya. M., Stepaniuk A. R., Gulienko S. V., Gaidai S. S., Seminsky O. O. Processes and equipment of chemical technologies part
6. Workshop. Textbook. – Kyiv KPI named after Igor Sikorsky, 2025. 520 p. dated 21.10.25

UDC 664.8.047

INTENSIFICATION OF DRYING OF CAROTENOID – CONTAINING RAW MATERIALS

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

ABSTRACT: *This study highlights the importance of accelerating the drying of carotene-containing raw materials while maintaining product quality. The scientific study of this process is outlined, along with its main objectives. It establishes the relevance of this topic to the national economic strategy.*

KEY WORDS: RAW MATERIALS CONTAINING CAROTENOIDS, COMBINED DRYING, ULTRASOUND DRYING, INTENSIFICATION OF DRYING, ENERGY EFFICIENCY

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СУШІННЯ КАРОТИНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

К.т.н., доцент Новохат О.А., аспірантка Тишко Ю.А.
Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: У роботі наведено актуальність інтенсифікації каротиновмісної сировини зі збереженням якісних показників продукції. Сформульовано мету наукового дослідження цього процесу та основні завдання. Встановлено відповідність даної теми національної економічної стратегії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАРОТИНОВМІСНА СИРОВИНА, КОМБІНОВАНЕ СУШІННЯ, УЛЬТРАЗВУКОВЕ СУШІННЯ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СУШІННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Актуальність теми. Каротиномісна сировина є доступним джерелом природних барвників і біологічно активних речовин для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості. Традиційне конвективне сушіння призводить до перегріву продукту, окиснення каротиноїдів, втрати кольору та аромату, що знижує якість готової продукції та її конкурентоспроможність [1].

Огляд вітчизняних і зарубіжних досліджень свідчить про стійку тенденцію до застосування комбінованих методів сушіння каротиномісної сировини (конвективного, інфрачервоного, мікрохвильового, вакуумного) у поєднанні з ультразвуковою обробкою та іншими фізичними впливами з метою інтенсифікації масообміну, скорочення тривалості процесу й енерговитрат при збереженні якості біоактивних компонентів [2, 3]. Зокрема, українські дослідження демонструють ефективність комбінованого сушіння та попередньої обробки моркви, гарбуза та білково-каротиномісної сировини для зменшення втрат каротиноїдів і підвищення енергоефективності процесів [2, 3].

Результати робіт зарубіжних дослідників також підтверджують доцільність використання мікрохвильового, інфрачервоного, вакуумного та ультразвукового сушіння для моркви, гарбуза, перцю та інших овочів, що забезпечує скорочення часу сушіння, зниження питомих енерговитрат і краще збереження каротиноїдів [4, 5, 7, 8]. Водночас встановлено, що специфічні режими комбінованого сушіння саме каротиномісної сировини та кількісні кінетичні моделі прогнозування деградації каротиноїдів залишаються недостатньо опрацьованими, що обумовлює необхідність подальших системних досліджень у цьому напрямі.

Існуючі сушарки орієнтовані переважно на теплову дію з обмеженим керуванням масообмінними процесами. Впровадження ультразвукового поля дає змогу прискорити дифузію вологи за рахунок кавітації та мікромеханічних ефектів, знизити робочу температуру сушіння та зменшити термічне

руйнування каротиноїдів, зменшити тривалість процесу й питомі енерговитрати [6, 7].

Це потребує науково обґрунтованої кінетичної моделі для оптимізації конструктивних і режимних параметрів.

Мета дослідження. Розробити та вдосконалити методи інтенсифікації сушіння каротиновмісної сировини з метою підвищення ефективності процесу та зниження енерговитрат при забезпеченні максимального збереження якості каротиноїдів, а також сформулювати рекомендації щодо модернізації промислових сушильних установок.

Основними завданнями дослідження є:

1. Охарактеризувати фізико-хімічні властивості каротиновмісної сировини (вологість, мікроструктура каротиноїдів) та встановити їхній вплив на сушіння.
2. Проаналізувати існуючі методи сушіння та обґрунтувати доцільність використання комбінованих методів (мікрохвильове, інфрачервоне, вакуумне, конвективне, ультразвукове).
3. Дослідити кінетику комбінованого сушіння за різних технологічних режимів, зокрема: різних температур сушильного агента (наприклад, 40 – 80 °C); інтенсивності ультразвукової дії (амплітуда, частота, тривалість обробки); рівнів вакууму або тиску повітря у сушильній камері; потужності мікрохвильового випромінювання або щільності інфрачервоного потоку; швидкості подачі повітря чи газового середовища; початкової вологості та товщини шару сировини.
4. Порівняти експериментально мікрохвильове, інфрачервоне, вакуумне, конвективне та ультразвукове із комбінованими методами із застосуванням/без застосування ультразвуку і обґрунтувати вибір раціональних схем сушіння.

5. Описати кінетику деградації каротиноїдів на основі результатів експериментальних досліджень за різних умов сушіння, зокрема: температурного режиму (низько-, середньо- та високотемпературне сушіння); типу сушіння (конвективне, інфрачервоне, мікрохвильове, комбіноване з ультразвуком); тривалості процесу та швидкості видалення вологи; інтенсивності ультразвукової обробки (амплітуда, частота, тривалість); доступу кисню (аеробні й анаеробні умови); освітленості та вологості повітря під час сушіння.

6. Встановити закономірності впливу режимів сушіння на збереження якісного вмісту каротиноїдів та їх органолептичні показники.

7. Скласти математичний опис кінетики сушіння каротиновмісних продуктів.

8. Провести оптимізацію режимів за критеріями "якість-енергоефективність" і підтвердити оптимум експериментально.

9. Розробити та оформити проєкт технічних умов на виробництво сухих каротиновмісних продуктів методом комбінованого сушіння.

Відповідність національним пріоритетам. Національна економічна стратегія на період до 2030 року, затверджена Кабінетом Міністрів України у березні 2021 року постановою № 179 (далі – Стратегія), визначає шлях до інноваційного, ресурсоефективного та орієнтованого на експорт зростання української економіки [9].

Отримані результати дослідження інтенсифікації сушіння каротиновмісної сировини безпосередньо сприятимуть реалізації пріоритетних напрямів Стратегії таких, як виробництво продукції з вищою доданою вартістю, підвищення енергоефективності та зменшення ресурсоемності промислових процесів, впровадженню інноваційних технологій (зокрема комбіноване сушіння з використанням ультразвуку) в українській

промисловості, підтримка експортної конкурентоспроможності українських виробників.

Перелік використаних джерел:

1. Coe K. M. Genetic analysis of domestication and carotenoid accumulation in carrot (*Daucus carota* L.) and the polyploidization of switchgrass (*Panicum virgatum* L.): дис. докт. філос. / Kevin Michael Coe. – University of Wisconsin-Madison. 2020. <https://asset.library.wisc.edu/1711.dl/PP6MJAY6PT62S8Y/R/file-8da84.pdf>
2. Petrova, Z., & Grakov, D. Study of heat and mass transfer processes during drying of protein-carotene-containing materials// Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2025. 48(2), 28-37 <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/view/624>
3. Petrova Z. O., Paziuk V. M., Samoilenko K. M., Novikova Y. P., Slobodianiuk K. S., Petrov P. I. Drying of protein – carotene – containing raw materials on the basis of carrots and soybeans on an experimental convection unit // Chemistry & Chemical Technology. 2025. Vol. 33, No. 2. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v33i2.320931>
4. Duan S., Chen J., Wang Y. Study the effect of ultrasonic pretreatment combined with electrohydrodynamic drying on carrots // Journal of Food Engineering. — 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502224002440>
5. Mierzwa D., Kroehnke J., Zielinska M. Microwave and ultrasound assisted rotary drying of carrot // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 22. P. 10676. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/22/10676>

6. Linares G., Rojas M. L. Ultrasound-assisted extraction of natural pigments from food processing by-products: A review // *Frontiers in Nutrition*. – 2022. – Vol. 9. – Article No. 891462. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.891462>
7. Wu J., Zhang L., Fan K. Recent advances in ultrasound-coupled drying for improving the quality of fruits and vegetables // *International Journal of Food Science and Technology*. 2022. Vol. 57, No. 9. P. 5722–5731. <https://academic.oup.com/ijfst/article/57/9/5722/7807123>
8. Shu Z. W., Zhou H., Li Y. Research progress of ultrasound technology and its combined treatment in fruit and vegetable storage in recent years // *Acta Alimentaria*. 2024. Vol. 53, No. 4. P. 513–528. <https://akjournals.com/view/journals/066/53/4/article-p513.xml>
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 179 “Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року”. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text>

UDC 631.8

**CALCULATION OF THE EFFICIENCY OF DUST AND WATER
VAPOR CAPTURE IN CYCLONES WITH LOCAL WALL IRRIGATION**

Postgraduate student Dmytruk Andriy V.,

Ph.D., Associate Professor Stepaniuk A. R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANNOTATION. *The improvement of the dust and water vapor capture process in cyclones with local wall irrigation is considered. The formation of a thin water film increases the efficiency of particle deposition and reduces their re-extraction. Modeling confirmed the effectiveness of this technology in fertilizer production and other industrial sectors.*

KEYWORDS: CYCLONE, GAS PURIFICATION, WATER STEAM, FINE DUST, IRRIGATION, ECOLOGICAL EFFICIENCY, MINERAL FERTILIZERS, RESOURCE SAVING

**РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВЛОВЛЮВАННЯ ПИЛУ ТА
ВОДЯНОЇ ПАРИ В ЦИКЛОНАХ ІЗ ЛОКАЛЬНИМ ЗРОШЕННЯМ
СТІНОК**

аспірант Дмитрук Андрій. В., к.т.н.. доцент Степанюк А. Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. *Розглянуто удосконалення процесу уловлювання пилу та водяної пари в циклонах із локальним зрошенням стінок. Формування тонкої водяної плівки підвищує ефективність осадження частинок і зменшує їх повторне винесення. Моделювання підтвердило ефективність застосування цієї технології у виробництві добрив та інших промислових галузях.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИКЛОН, ГАЗООЧИСТКА, ВОДЯНА ПАРА, ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ, ЗРОШЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, РЕСУРСООЩАДНІСТЬ

In modern conditions of industrial development, increasing the efficiency of technological equipment, reducing environmental impact and reducing operating costs is of great importance. One of the key areas is the improvement of gas flow cleaning systems from dust and solid impurities.

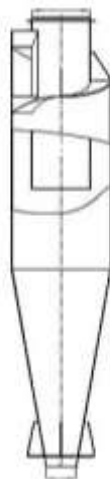
The work investigates the operation of a cyclone, a device that separates solid particles and fine dust from gas by centrifugal force. During the rotation of the flow, heavier particles are directed to the walls of the housing, settle and are removed, while the purified gas exits through the central pipe. Due to the simplicity of the design, reliability and efficiency, cyclones are widely used in industrial processes for cleaning air and gases, and can also be integrated into complex dust and steam cleaning systems.

The purpose of the thesis is to increase the efficiency of the extraction of fine solid particles and water vapor in the equipment used during the processes of dehydration and granulation of liquid media. To achieve this goal, it is planned to create a two-stage gas flow purification system, develop physical and mathematical models of the process, as well as perform engineering calculations of cyclone parameters to optimize its operation.

The study considered three types of cyclones — TsN-11, TsN-24 and SK-TsN-33, designed to capture solid particles from gas flows. The cleaning efficiency depends on the type and diameter of the cyclone: with increasing diameter, it decreases. To work with large volumes of gas, cyclones can be combined into groups of several elements.

The TsN-11 cyclone, shown in Figure 1, is a versatile and reliable device with a cleaning efficiency of 80–95%. Its operating principle is based on the action of

centrifugal forces, which throw dust particles to the walls of the housing, where they settle, and the cleaned gas is discharged through the central pipe.



Rice. 1 – Cyclone ЦН-11

In the central zone of the cyclone TsN-11, the gas flow changes direction by 180° , which contributes to the complete separation of dust particles under the influence of inertial forces. The deposited dust enters the storage hopper. Such cyclones are not recommended for fibrous or sticky dust, as well as in the presence of a drop-liquid phase or vapor condensation.

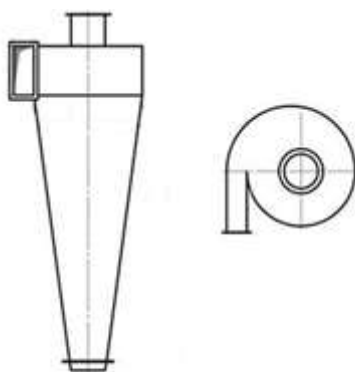
Cyclones of the TsN-24 type are characterized by high reliability, versatility and economy. They differ in productivity and dimensions, do not require significant energy consumption and are characterized by long-term operation, which ensures their wide application in industry, as shown in Figure 2.



Rice. 2 – Cyclone ЦН-24

Cyclones of the TsN-24 series can operate as separate devices or in groups, have a left- or right-hand design. With an increase in diameter, their efficiency decreases. The gas-dust mixture is fed tangentially, moves in a spiral, and particles under the action of centrifugal force settle on the walls and then fall into the bunker. Such cyclones effectively clean the air from dust, including fine fractions.

The SK-TSN-33 cyclone has an elongated spiral cone and is characterized by high efficiency of solid particle removal - up to 98%, shown in Figure 3. It is used in industrial systems for intensive purification of gas flows and reduction of dust emissions.



Rice. 3 – Cyclone SK-ЦН-33

Cyclones SK-TSN-33 are used in pneumatic conveying, aspiration and boiler systems, as well as in the metallurgical and chemical industries for cleaning gases from soot and combustion products. They provide the highest efficiency when working with particles over 10 microns and are recommended for the extraction of materials with a density of about 2.7 g/cm³. Thanks to the spiral swirler ("snail"), a degree of purification of up to 98% is achieved even at moderate flow rates.

According to the results of the analysis, it was found that the cyclones TsN-11 have the best technical and economic indicators with average requirements for cleaning, while TsN-24 is advisable to use at the first stage of cleaning with high dustiness of the flow. For fine capture of fine dust (5–6 microns) and increased environmental requirements, the use of cyclones SK-TsN-33 is optimal.

To confirm the choice of the optimal type of cyclone, engineering calculations were carried out for three models - TsN-11, TsN-24 and SK-TsN-33. For the convenience of calculations, a program was developed in the C# language that automates the input of initial data and the determination of the main parameters, presented in Table 1.

Table 1 – Initial data for calculation

Cyclone type	V, m ³ /h 103	dt, μm	ρ _t , kg/m ³	WITH, g/m ³	LGσ _η	tg, °C
CN-11	25	26	1930	175	0.36	75
SK-CN-33	25	26	1930	175	0.34	75
CN-24	25	26	1930	175	0.3	75

Symbols in the table:

V – volumetric flow rate of the gas being purified, m³/h · 103;

dt – median cross section at which the mass of all dust particles is less than or greater than 50%;

ρ_t – density of solid particles, kg/m³;

C – Initial gas dust content, g/m³;

LGσ_η is a quantity characterizing the dispersion (lg2σ_η) of the quantity lgσ_η in the function of the fractional characteristic;

tg – gas temperature, °C.

The results of the calculation of particulate matter are presented in Tables 2 and 3.

Table 2 – Results of solid particle calculations

Cyclone type	D, m	N, number	W, m/s	ξ	ΔP, Pa	P, W	J, W m ³ /h	η _p , %	d ₅₀ , μm
CN-11	0.7	6	3.8	208.2	1548.3	82183.7	482.8	97.2	4
SK-CN-33	1	6	1.8	387.4	691.5	36708.5	217.1	96.6	4.4

CN-24	0.6	8	3.9	64.5	499.7	35366.8	219.5	92	8.7
-------	-----	---	-----	------	-------	---------	-------	----	-----

Table 3 – Results of calculations of condensed water vapor

Cyclone type	D, m	N, number	W, m/s	ξ	ΔP , Pa	P, W	J, W m ³ /h	η_p , %	d ₅₀ , μ m
CN-11	0.7	6	3.8	208.2	1548.3	82183.7	555.2	84.5	5.6
SK-CN-33	1	6	1.8	387.4	691.5	36708.5	253.4	82.7	6.1
CN-24	0.6	8	3.9	64.5	499.7	35366.8	284.5	71.1	12.1

Symbols in the table:

D – cyclone diameter, m;

N is the number of cyclones;

W – actual flow velocity, m/s;

ξ – coefficient of hydraulic resistance;

ΔP – hydraulic resistance of the cyclone, Pa;

P – power of the cyclone battery, W;

J – efficiency of the cyclone battery, W m³/h;

η_p – dust collection efficiency in the cyclone, %.

Based on the calculations, the following general conclusions can be drawn. All three types of cyclones — TsN-11, TsN-24 and SK-TsN-33 — provide a high level of air purification, which is 92–97.2%. The highest efficiency was shown by the TsN-11 cyclone, while the TsN-24 has the lowest hydraulic resistance. Both cyclones, TsN-11 and SK-TsN-33, are capable of capturing particles with a size of about 4 microns.

During calculations for capturing condensate droplets from water vapor, it was found that the efficiency of all three types of cyclones decreases to 71.1–84.5%. The best performance is retained by the cyclone TsN-11, although it has the highest resistance, and TsN-24 again demonstrates minimal pressure losses. The efficiency of capturing droplets increases with increasing size - the optimal formation of droplets

over 10 microns is, since for smaller particles the cleaning performance is insufficient.

The results obtained confirm the feasibility of using cyclones in two-stage purification systems, where the combination of CN-11 and SK-CN-33 provides the optimal balance between efficiency, energy consumption, and process stability.

List of links

1. Dmytruk, A. V., & Stepaniuk, A. R. (2023). Justification of cyclone modernization for capturing polydisperse solid inclusions and water vapor. In Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference "Ecology. Man. Society" (p. 265). Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.

2. Stepaniuk A.R., Dmytruk A.V. Modeling the process of trapping highly dispersed solid particles and water vapor in a cyclone apparatus with the addition of sprayed water. Bulletin of the Kremenchug National University named after Mykhailo Ostrogradsky. 2025. Issue 1(150). Pp. 270–277.

3. Stepaniuk A.R., Dmytruk A.V. Modeling the process of trapping highly dispersed solid particles and water vapor in a cyclone apparatus with the addition of sprayed water. Visn. Kremenchug National University named after Mykhailo Ostrogradsky. 2025. Issue 4(150). Pp. 386–393.

4. Stepaniuk, A. R., Kornienko, Ya. M., & Dmytruk, A. V. (2024). Separation of multicomponent gas mixtures. Bulletin of NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation, 3, 39–49.

УДК 66.065.3:546.42

3D MODELING OF A MODERNIZED HEAT EXCHANGE TUBE OF AN EVAPORATOR WITH TURBULENCE PROMOTERS IN SOLIDWORKS

Oleksandr Nesteruk, Sergey Gulienko

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *The work describes in detail the process of creating a parametric three-dimensional model of a modernized heat exchange tube of an evaporator designed for the production of barium chloride. The main purpose is to increase the efficiency of the heat transfer process by creating turbulizing protrusions that disrupt the laminar mode of fluid movement and reduce the thickness of the film formed on the heat exchange surface. 3D modeling was performed in the SolidWorks environment. Increasing the area of the heat exchange surface due to a smooth tube effectively increases the intensity of heat transfer.*

KEY WORDS: SOLIDWORKS, 3D MODELING, HEAT EXCHANGER, EVAPORATOR, TURBULENCE PROMOTERS, CFD ANALYSIS, DIGITAL TWIN.

3D МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ТЕПЛООБМІННОЇ ТРУБИ ВИПАРНОГО АПАРАТУ З ТУРБУЛІЗУЮЧИМИ ВИСТУПАМИ В SOLIDWORKS

студент Олександр Нестерук, к.т.н., доц. Сергій Гулієнко

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Анотація. *У роботі детально розглянуто процес створення параметричної тривимірної моделі модернізованої теплообмінної труби випарного апарату, призначеного для виробництва хлориду барію. Основною метою є підвищення ефективності процесу теплопередачі за рахунок створення турбулізуючих виступів, що порушують ламінарний режим руху*

рідини та зменшують товщину плівки, яка утворюється на теплообмінній поверхні. 3D моделювання виконано в середовищі SolidWorks. Збільшення площі теплообмінної поверхні порівняно з гладкою трубою свідчить про потенційне покращення інтенсивності теплопередачі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: SOLIDWORKS, 3D МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛООБМІН, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ТУРБУЛІЗУЮЧІ ВИСТУПИ, CFD-АНАЛІЗ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ.

Вступ

Модернізація випарного апарата виконувалася з метою підвищення ефективності процесу теплопередачі під час виробництва хлориду барію, де основною проблемою є зниження коефіцієнта теплопередачі внаслідок утворення рідинної плівки на поверхнях теплообміну. У процесі експлуатації таких апаратів на стінках теплообмінних труб формується шар рідини, який має низьку теплопровідність і створює додатковий термічний опір. Це призводить до зменшення інтенсивності теплообміну, збільшення витрат енергії та нестабільної роботи установки. Традиційні методи підвищення ефективності випарників полягають у збільшенні швидкості руху рідини або температури теплоносія, проте такі способи супроводжуються значним зростанням енергоспоживання і не завжди забезпечують стабільний режим роботи. Тому було запропоновано конструктивне рішення, яке не потребує додаткових енергетичних витрат, але дозволяє інтенсифікувати процес теплопередачі за рахунок зміни геометрії теплообмінної поверхні.

Суть модернізації полягає у створенні нової конструкції теплообмінної труби випарного апарата з турбулізуючими виступами, розташованими по її зовнішній поверхні. Такі виступи мають кільцеву форму і рівномірно розміщені вздовж осі труби. Їхня функція полягає у створенні локальних турбулентних зон потоку, які порушують ламінарний режим руху рідини. У результаті відбувається руйнування рідинної плівки, що постійно утворюється на стінках

труби, а також активне перемішування шару рідини біля поверхні теплообміну. Це забезпечує регулярне оновлення рідинного шару, що контактує з нагрітою поверхнею, і призводить до збільшення коефіцієнта теплопередачі. Вибір саме такого способу модернізації обумовлений простотою його реалізації, низькою вартістю виготовлення та високою надійністю в експлуатації, адже конструкція не має рухомих частин і не потребує складного технічного обслуговування.

У ході виконання роботи було розроблено параметричну тривимірну модель модернізованої труби у програмному середовищі SolidWorks. Модель дозволяє змінювати основні геометричні параметри - зовнішній діаметр, висоту виступів, їх кількість та крок розміщення. Це забезпечує можливість підбору оптимальної геометрії для досягнення максимальної ефективності теплообміну. Висота виступів становила близько одного міліметра, а товщина кільця — близько одного міліметра, що дозволяє забезпечити потрібний ефект турбулізації без істотного підвищення гідравлічного опору.

Вибір турбулізуючих виступів як основного елемента модернізації був зроблений після аналізу кількох альтернативних підходів. Зокрема, розглядалися варіанти використання внутрішніх турбулентних вставок, ребристих труб і зміни матеріалу поверхні теплообміну. Проте ці рішення потребували складнішого виготовлення, підвищували вартість або вимагали зміни технології складання апарата. У той час як турбулізуючі виступи на зовнішній поверхні труб можна реалізувати за допомогою стандартних токарних або фрезерних операцій, що значно спрощує процес виготовлення і не потребує змін у конструкції всього апарата. Крім того, така модернізація є довговічною, оскільки виступи не зношуються в процесі експлуатації та не зменшують прохідний переріз труб, що важливо для збереження продуктивності системи.

У результаті виконаного моделювання отримано детальну тривимірну параметричну модель теплообмінної труби. Конструкція має високий рівень

гнучкості для подальших змін і придатна для проведення CFD-аналізу потоків.

Модель дозволяє: досліджувати розподіл швидкості й температури рідини в зоні виступів; оцінювати зони локального перегріву або застою; змінювати конструктивні параметри для підбору оптимальної геометрії; використовувати її як основу для побудови збірки трубного пучка випарного апарату. На рисунку 1 представлено модель уявного каналу, в якому відбувається рух плівки рідини. Ця модель дозволяє візуалізувати вплив турбулюючих виступів на структуру потоку і механізм руйнування плівки. Використання такої моделі є важливим етапом оптимізації теплообмінного обладнання, оскільки вона допомагає прогнозувати ефективність роботи апарату за різних умов експлуатації.



Рисунок 1 – Модель уявного каналу руху плівки

Було змодельовано та проаналізовано 4 варіанти з різною кількістю виступів на 100мм труби, їх результати наведено на рисунках 2-5

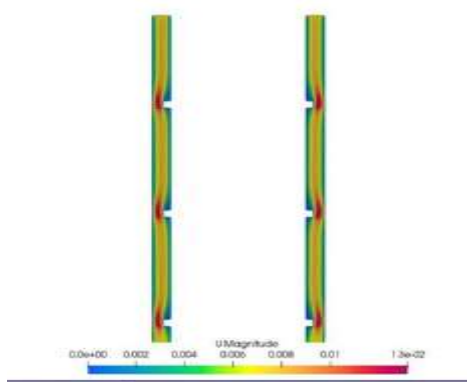


Рисунок 2 – Модель турбулізуючих виступів з кількістю 4 на 100мм

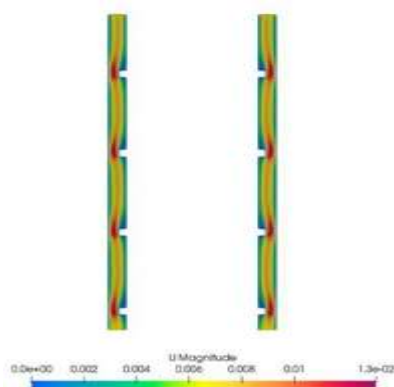


Рисунок 3 – Модель турбулізуючих виступів з кількістю 5 на 100мм

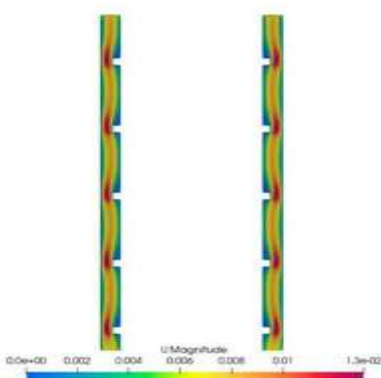


Рисунок 4 – Модель турбулізуючих виступів з кількістю 6 на

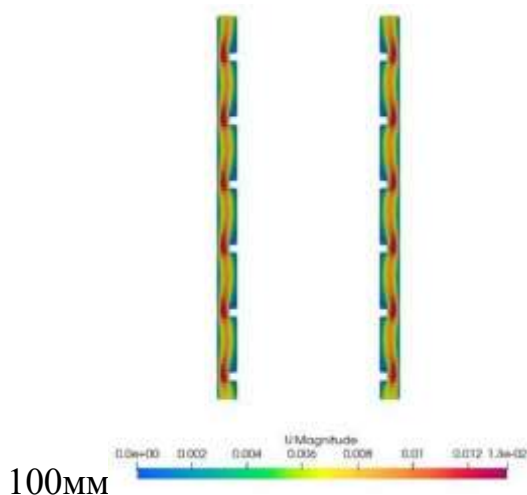


Рисунок 5 – Модель турбулізуючих виступів з кількістю 7 на 100мм

На основі проведених досліджень було встановлено, що найбільш ефективним є розташування турбулюючих виступів у кількості 7 на кожні 100 мм довжини труб теплообмінника. Така кількість виступів виявилася оптимальною для створення турбулентного руху рідини у каналах

теплообмінного апарату. Турбулентні потоки суттєво покращують характеристики теплообміну, оскільки сприяють інтенсивному перемішуванню рідкої фази і забезпечують рівномірний розподіл температури у потоці.

Цей підхід дозволяє збільшити ефективність процесів теплообміну без необхідності суттєвого підвищення енерговитрат. Оптимізація гідродинамічних умов у каналі теплообмінника також позитивно впливає на експлуатаційні характеристики апарату. Завдяки більш рівномірному прогріванню і швидшому відведенню тепла значно знижується ймовірність локального перегріву або застійних зон у теплообміннику, що підвищує його надійність

Висновки:

У результаті створення моделі та подальших розрахунків було доведено, що впровадження турбулізуючих виступів дозволяє підвищити коефіцієнт теплопередачі у порівнянні з гладкою трубою, а також зменшити витрати пари. Це свідчить про значне покращення енергетичної ефективності процесу. Окрім того, завдяки рівномірному перемішуванню потоку усуваються застійні зони, що зменшує ймовірність утворення накипу і підвищує довговічність роботи апарата. Важливо, що така модернізація не змінює принцип дії випарника, тому її можна впровадити у вже існуючі промислові системи без потреби в їхній повній заміні або реконструкції. Отже, модернізація випарного апарата полягала у створенні конструкції теплообмінної труби з турбулізуючими виступами, які забезпечують руйнування рідинної плівки та формування турбулентного потоку. Це рішення було прийнято для підвищення ефективності процесу теплопередачі без збільшення енергоспоживання, покращення стабільності плівкового потоку та зниження термічного опору. Проведене 3D моделювання в середовищі SolidWorks дозволило оптимізувати геометрію виступів і підтвердити ефективність такого підходу. Запропонована конструкція може бути інтегрована в промислові випарні системи виробництва хлориду барію та інших хімічних речовин, що потребують концентрування розчинів, і є прикладом ефективної та

економічно доцільної модернізації енергомісткого технологічного обладнання.

List of links:

1. US 3302701A "Turbulence promoter for increased heat and mass transfer"-
Автор: D. G. Thomas.
2. Selection of turbulence promoters for retrofit applications (2023) - M. Picón-Núñez
3. US 10976115 "Heat exchanger tube"
4. Counteracting Downstream Effects Using Turbulence Promoters in Shell-and-Tube Heat Exchangers (2024) – J. L. García-Castillo

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА

студент Трунін А.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

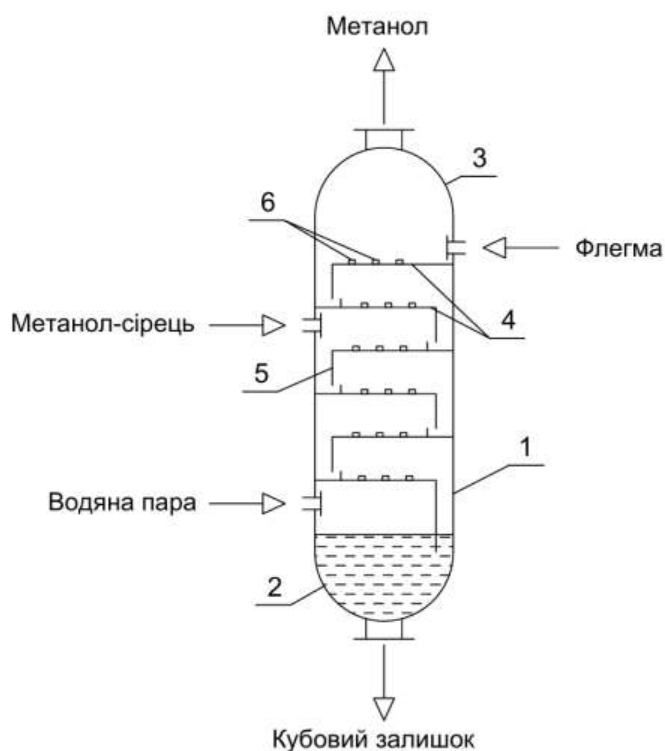
Метанол (CH_3OH) є важливою речовиною, яка використовується у багатьох галузях промисловості. Він слугує сировиною для виробництва формальдегіду, третбутилметилового етеру, розчинників, смол і пестицидів, які є основою для багатьох виробничих процесів. Також в енергетиці він застосовується як екологічно чисте паливо, добавка до пального, або у виробництві біопалива.

Окрім традиційного застосування, використання метанолу шляхом уловлювання і перетворення вуглекислого газу у корисну сировину сприяє екології. Саме така універсальність робить метанол незамінним у багатьох галузях [1].

Однією з ключових стадій виробництва метанолу є ректифікація, що забезпечує отримання високочистого метанолу з сирцю.

Метою роботи є модернізація ректифікаційної колони для підвищення ефективності масообміну та зниження енерговитрат шляхом удосконалення конструкції тарілок.

У ректифікаційній колоні процес відбувається завдяки багаторазовому контакту парової та рідкої фаз на тарілках. Від ефективності роботи цих самих тарілок і залежить якість розділення, стабільність роботи установки та енергетичні витрати.



1 – корпус, 2 – днище, 3 – кришка, 4 – тарілки ковпачкові, 5 – переливна стінка, 6 – ковпачки.

Рисунок 1 – Схема тарілчастої ректифікаційної колони

Колона складається з корпусу (1), у якому розташовані ковпачкові тарілки (4) з переливними стінками (5), кришки (3) та днища (2). Метанол-сірець подається в середню частину колони, де рідина стікає вниз через тарілки, а пара піднімається крізь ковпачки (6) і крізь прорізи в них, барботуючи крізь шар рідини. Такий контакт фаз забезпечує стабільний процес масообміну навіть при зміні навантаження пари.

У верхній частині колони газова фаза охолоджується, і конденсується чистий метанол. Частина сконденсованого матеріалу повертається в колону у вигляді флегми для забезпечення більш інтенсивного процесу масообміну, а решта подається на вихід як готовий продукт [2].

Переваги:

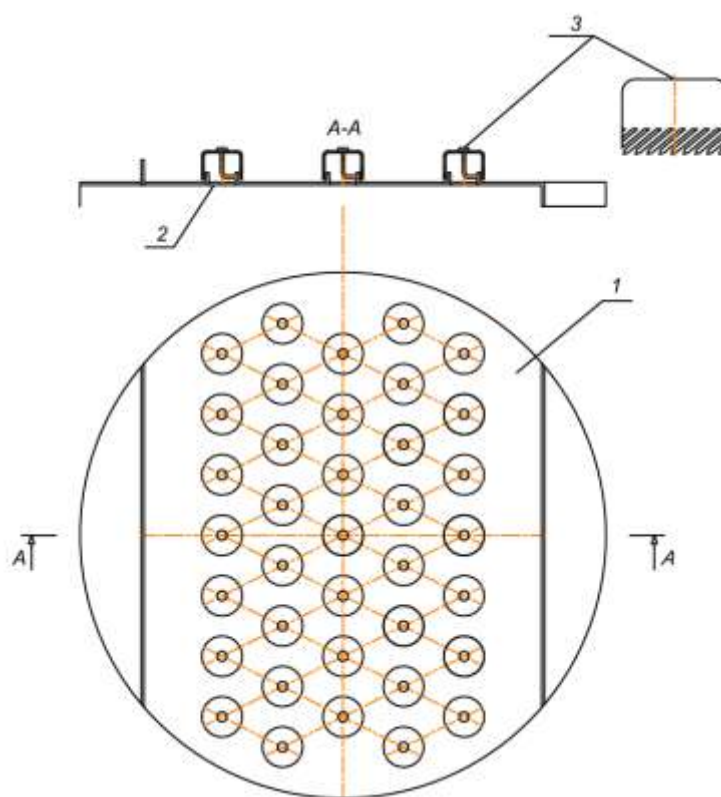
- 1) Висока ефективність розділення при помірних витратах енергії.
- 2) Стабільний барботаж при змінних навантаженнях пари.

Недоліки:

- 1) Дещо більший перепад тиску порівняно з іншими типами тарілок.
- 2) Можлива нерівномірність розподілу барботажу за площиною тарілки.

Для усунення недоліку нерівномірного барботажу та зменшення енергоспоживання запропоновано модернізувати ковпачкові тарілки. Суть цієї модернізації полягає у зміні конструкції ковпачка: на його бічній поверхні виконуються прорізи під кутом ($45-60^\circ$) до вертикалі, що дозволяє парі виходити не лише вгору, а й частково вбік, створюючи більш активне перемішування рідини.

Такий напрям потоку створює завихрення потоків пари підвищує ступінь контакту фаз та покращує тепломасообмін. У результаті колона працює стабільніше при менших витратах тепла.



1 – тарілка; 2 – отвір; 3 – ковпачки.

Рисунок 2 – Схема модернізації ковпачкової тарілки колони.

Висновок:

Запропонована модернізація усуває недолік нерівномірного барботажу та підвищених енерговитрат. Завдяки похилим прорізам, що спрямовують пару по дотичній, рідина закручується навколо стояка, забезпечуючи рівномірний турбулентний барботаж. Це покращує масообмін, зменшує перепад тиску і підвищує енергоефективність колони.

Перелік ресурсів:

1. Student A.O. Trunin, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R. Modernization of the methanol production installation with the development of a rectification column and steam generator. - 2024

2. Ректифікаційна колона [Електронний ресурс] // Autoclav.com.ua – блог. – Режим доступу: <https://autoclav.com.ua/ua/blog/rektifikacionnaya-kolonna-rabota>. – Дата доступу: 07.10.2025.

UDK 661.72

INCREASING THE BIOCONVERSION OF WHEAT STRAW THROUGH THE APPLICATION OF DISCRETE-PULSE ENERGY INPUT

Oleksandr Obodovych, Vitalii Sydorenko

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

KEYWORDS: BIOCONVERSION, WHEAT STRAW, PRETREATMENT, CELLULOSE CONVERSION, ROTARY PULSATION APPARATUS, FUEL ETHANOL

Abstract: *The effect of alkaline pretreatment of wheat straw before hydrolysis in a rotary-pulsation apparatus on the rate of enzymatic hydrolysis of cellulose was investigated. It was found that increasing of alkali concentration led to a higher degree of lignin removal and increased rate of cellulose conversion.*

ЗБІЛЬШЕННЯ БІОКОНВЕРСІЇ СОЛОМИ ПШЕНИЧНОЇ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ

д-р техн. наук, с.н.с. Ободович О.М., канд. техн. наук Сидоренко В.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація: *Досліджено вплив лужної попередньої підготовки соломи пшеничної до гідролізу в роторно-пульсаційному апараті на швидкість ферментативного гідролізу целюлози. Встановлено, що зі збільшенням концентрації лугу зростає ступінь вилучення лігніну та підвищується швидкість конверсії целюлози.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОКОНВЕРСІЯ, СОЛОМА ПШЕНИЧНА, ПОПЕРЕДНЯ ПІДГОТОВКА, КОНВЕРСІЯ ЦЕЛЮЛОЗИ, РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ, ПАЛИВНИЙ ЕТАНОЛ

Вступ

Виробництво етанолу з лігноцелюлозної сировини ускладнюється наявністю в ній геміцелюлози та лігніну.

Основною метою попередньої обробки лігноцелюлозної сировини до гідролізу є руйнування гетерогенної матриці, збільшення площі поверхні та пористості целюлозного матеріалу, а також вивільнення вуглеводів з їх лігнінової асоціації, тим самим покращуючи ферментативну засвоюваність [1].

Перетворення полісахаридів відображає ефективність гідролізу лігноцелюлозної біомаси, що базується на її попередній обробці та доступності для ферментів. За ідеальних умов усі полісахариди в лігноцелюлозній біомасі гідролізуються на моносахариди. Зазвичай не всі полісахариди можна кількісно гідролізувати на моносахариди. Деякі полісахаридні ланцюги залишаються, особливо найменш доступні.

Одним із методів інтенсифікації хіміко-технологічних процесів є метод дискретно-імпульсного введення енергії, який реалізується, зокрема, в роторно-пульсаційних апаратах. Вплив комплексу теплових та фізичних явищ на рідкі гетерогенні середовища, а саме дисперсії, емульсії тощо, дозволяє інтенсифікувати процеси диспергування, гомогенізації, перемішування, збільшує швидкість хімічних реакцій у зоні фазового контакту [2].

Метою цієї роботи було визначити вплив обробки лужної суспензії пшеничної соломи в роторно-пульсаційному апараті на швидкість перетворення целюлози в результаті ферментативного гідролізу.

Materials and methods

Сировиною була попередньо подрібнена до середнього розміру частинок 0,1...0,4 мм пшенична солома наступного складу (% w/w) : целюлоза 45,6%, лігнін 17,1%, екстрактивні речовини 5,4%, геміцелюлози 25,8% та зола 4,2%.

Обробка лужної суспензії пшеничної соломи відбувалася в експериментальній установці з реактором-змішувачем, що являє собою роторно-пульсаційний апарат. Конструкція та принцип роботи експериментальної установки описані в [3].

Порядок обробки був наступним. Масу пшеничної соломи замочували у воді до утворення однорідної суспензії протягом доби. Решту води заливали в приймальну посудину установки, змішували з гідроксидом натрію у співвідношенні, визначеному експериментальними умовами, та нагрівали до температури, визначеної експериментальними умовами. Відокремлені після попередньої обробки, нейтралізовані, відфільтровані, промиті та висушені зразки піддавали ферментативному гідролізу.

Ферментативний гідроліз попередньо обробленої пшеничної соломи згідно з методикою, наведеною в [4].

Results and discussion

На рисунку 1 показано залежність швидкості перетворення целюлози в результаті ферментативного гідролізу під час обробки лужного розчину пшеничної соломи в роторно-пульсаційному апараті при швидкості обертання ротора 47,75 об/хв та температурі 90°C при різних концентраціях лугу. Концентрація твердої речовини становила 10%; попередня обробка відбувалася протягом однієї години. Додатково наведено кількість залишкового лігніну у зразках в результаті попередньої обробки.

Збільшення концентрації лугу в лужному розчині пшеничної соломи від 1 до 4 (% w/w) призводить до збільшення швидкості перетворення целюлози під час ферментативного гідролізу з 38 до 65,8%. Відповідне зменшення вмісту лігніну у зразках (від 17,1% у необробленій сировині до 2,3% після попередньої обробки) дозволяє зробити висновок, що збільшення швидкості перетворення целюлози зумовлене руйнуванням лігноцелюлозного комплексу, вивільненням більшої частини лігніну в розчин, впливом більшої доступності та збільшенням поверхні контакту целюлози та целюлолітичних ферментів. Порівняння результатів попередньої обробки пшеничної соломи для гідролізу методом дискретно-імпульсного підведення енергії при температурі обробки 90°C та автоклавування при температурі 121°C представлено на рис. 2. З рисунка

можна зробити висновок, що обробка методом дискретно-імпульсного підведення енергії призводить до збільшення швидкості перетворення целюлози для всього діапазону концентрацій лугів. Так, при концентрації лугу 1% збільшення швидкості перетворення целюлози становило 48,7% під час автоклавування та 53,4% під час обробки. Для концентрації лугу 2% швидкість перетворення целюлози становила 57,8 та 63,85% відповідно. Для концентрації лугу 4% швидкість перетворення целюлози становила 64,6 та 72,59% відповідно.

Вміст лігніну після попередньої обробки для концентрації лугу 1% становив 3,9% під час автоклавування та 3,67% під час обробки. Для концентрації лугу 2% вміст лігніну становив 3,45 та 2,99% відповідно. Для концентрації лугу 4% вміст лігніну становив 2,6 та 2,3% відповідно.

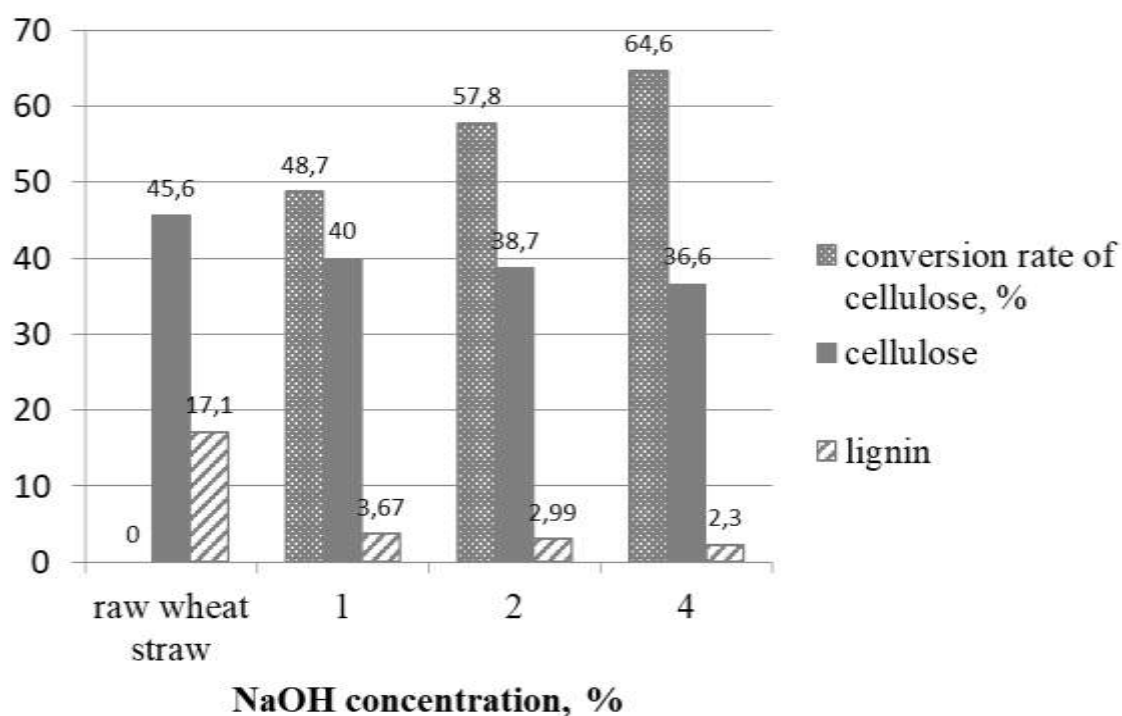


FIGURE 1. Dependence of the cellulose conversion rate as a result of enzymatic hydrolysis during processing in a rotor-pulsation apparatus at a rotor speed of 47.75 rps and a temperature of 90°C of alkali concentrations 1, 2 and 4 (% w/w).

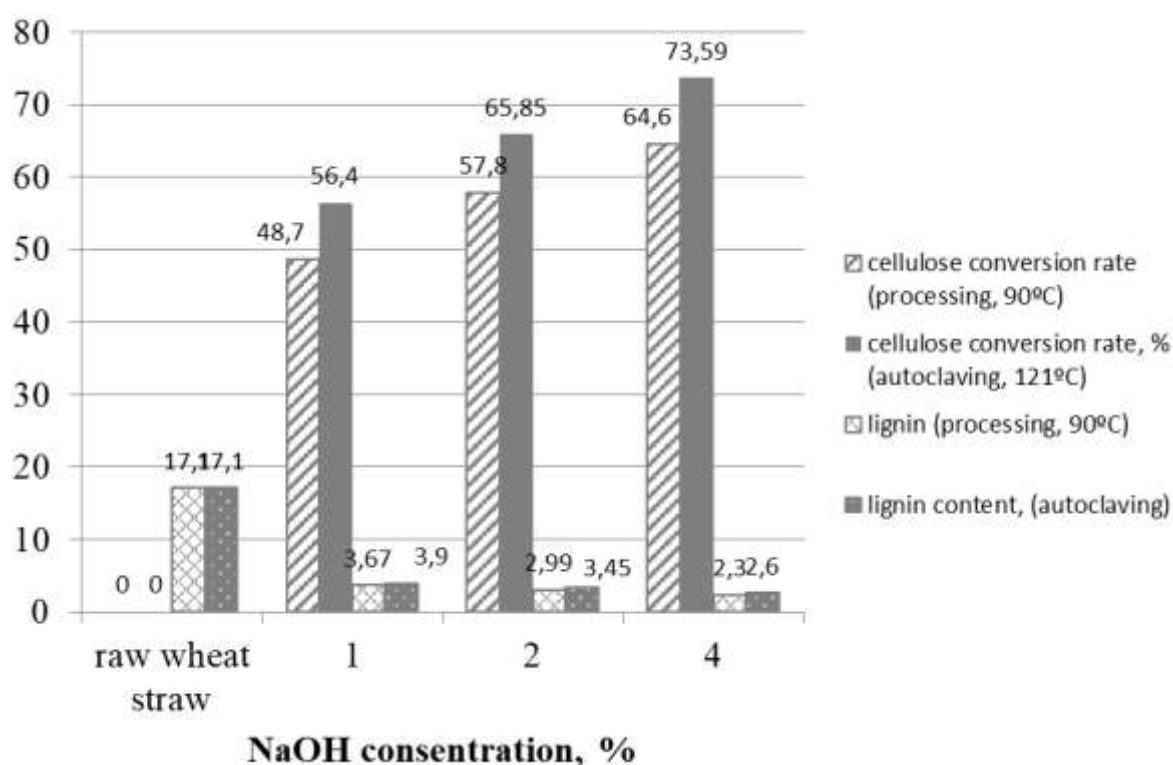


FIGURE 2. Dependence of the cellulose conversion rate as a result of enzymatic hydrolysis after pretreatment by autoclaving (121°C) and discrete-pulse energy input (90°C; rotor rotation speed 47.75 rps) at alkali concentrations 1, 2 and 4 (% w/w).

Conclusions

В результаті дослідження було визначено, що збільшення концентрації лугу під час попередньої лужної обробки пшеничної соломи методом дискретно-імпульсного введення енергії призводить до збільшення швидкості перетворення целюлози під час подальшого ферментативного гідролізу. Було встановлено, що обробка сприяє збільшенню швидкості перетворення целюлози порівняно з автоклавуванням.

References

1. Toquero, Cristina & Bolado, Silvia., 2014. Effect of four pretreatments on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of wheat straw. Influence of

inhibitors and washing. Bioresource technology. 157, 68-76.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.090>

2. Dolinsky A. A. (ed). (2015), Micro- and nano-level processes in DPIE technologies Akadempierodica, Kyiv

3. Larysa A. Sablii, Oleksandr M. Obodovych, Vitalii V. Sydorenko, Tamila,V. Sheyko, 2020. Study of wheat straw delignification in a rotary-pulsation apparatus. Acta Periodica Technologica. 51, 103-111.

<https://doi.org/10.2298/APT2051103S>

4. Xu, J., Cheng, J. J., Sharma-Shivappa, R. R., & Burns, J. C., 2010. Lime pretreatment of switchgrass at mild temperatures for ethanol production. Bioresource Technology, 101(8), 2900–2903.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.015>

УДК 532.137: 666.97

MODERN DIRECTIONS OF EVAPORATOR MODERNIZATION

Oleksandr Belchenko, Igor Andreiev

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *The modern methods of upgrading evaporators are presented. The use of improved evaporator designs leads to increased productivity and efficiency of refrigeration machines.*

KEY WORDS: EVAPORATOR, EQUIPMENT MODERNIZATION, STEAM.

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВИПАРНИКІВ

студент Олександр Бельченко, к.т.н., доц. Ігор Андреев

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Анотація. *Наведені сучасні шляхи модернізації випарних апаратів. Застосування удосконалених конструкцій випарників призводить до підвищення продуктивності і ефективності роботи холодильних машин.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПАРНИК, МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ, ПАРА.

Devices designed for liquid evaporation are widely used in the chemical, food, pharmaceutical, and other industries. Despite the large number of existing evaporator designs, their improvement continues constantly. In recent years, specialists from the United States working in the field of refrigeration technology have made a significant contribution in this area, and the main results of their research are presented below.

An evaporator is one of the components of a refrigeration machine in which the working substance boils due to heat supplied from a low-temperature source. The vapor formed during the boiling of the refrigerant is drawn from the evaporator by a compressor to perform further processes in the refrigeration cycle.

A method has been proposed to increase the performance of a DX refrigeration system by using a two-phase refrigerant (liquid + vapor) as the driving flow for an ejector (patent US2025290671A1 "Direct-Expansion Evaporator Coil with Ejector-Enhanced Capacity for Low-Temperature and Economized Systems"). A direct expansion (DX) cooling system is a type of air-conditioning system that removes heat from a room through the evaporation and condensation of a refrigerant. The system includes an inlet separator connected to the outlet of an expansion device; a liquid refrigerant outlet that directly supplies the evaporator; a two-phase mixture outlet that feeds the ejector; and an evaporator outlet divided into liquid and vapor lines (the vapor goes to the compressor, while the liquid returns to the ejector). The invention enables the use of a two-phase refrigerant as the driving force of the ejector, ensuring liquid refrigerant recirculation, increased performance, and efficient operation of a DX evaporator in economized systems. The advantages of the method include: an increase in evaporator cooling capacity by up to 38% due to liquid recirculation; the ability to operate with low-temperature liquid—suitable for economized systems; uniform refrigerant distribution among evaporator circuits; and prevention of liquid entering the compressor. The invention enables the use of a two-phase refrigerant as the ejector's motive flow, ensuring liquid recirculation, improved capacity, and efficient DX evaporator operation.

The evaporator and refrigeration device described in patent US2025297787A1 includes an evaporator housing, a condensate inlet tube, a gas pipeline tube, and a refrigerant zone. The refrigerant zone is located around the inner wall of the evaporator housing; together with the evaporator housing, the refrigerant zone forms at least one refrigerant channel. The refrigerant channel has an inlet connected to a condenser via the condensate inlet tube and an outlet connected to a compressor via the gas pipeline tube. The proposed technical solution improves heat-transfer efficiency and the cooling capability of the evaporator while offering a simple design and low manufacturing cost. Implementation of the invention reduces the number of

layers through which heat must pass (increasing cooling efficiency); simplifies the channel and reduces cost; increases the contact area between the refrigerant and the walls; and results in a more compact construction.

Patent UA129246 "Evaporator Control Means" includes determining whether the evaporator is within the communication range of a second device. The method additionally includes locking the evaporator in response to detecting that the evaporator is within said communication range; receiving information associated with the evaporator user; and activating the evaporator based on the received information.

Further literature and patent research in this direction will broaden the possible avenues for modernization when designing modern evaporative equipment.

UDC 663.1

CONTINUOUS TECHNOLOGY OF BAKER'S YEAST CULTIVATION

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

¹ National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

² Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ANNOTATION: Continuous cultivation technology for baker's yeast is considered. The main stages of the process are described, including media preparation, automated parameter control, and biomass extraction. The advantages of continuous cultivation over periodic cultivation are shown: reduced cost, stable quality, increased yield and reduced energy consumption. The prospects for implementation in Ukraine are presented.

KEYWORDS: BAKER'S YEAST, CONTINUOUS CULTIVATION, FERMENTER.

БЕЗПЕРЕРВНА ТЕХНОЛОГІЯ КУЛЬТИВУВАННЯ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ДРІЖДЖІВ

канд. техн. наук Гусарова О.В., студент Кононенко М.С.

¹ Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

АНОТАЦІЯ: Розглянуто безперервну технологію культивування хлібопекарських дріжджів. Охарактеризовано основні стадії процесу, включаючи підготовку середовища, автоматизований контроль параметрів та виділення біомаси. Показано переваги безперервного культивування над

періодичним: зменшення собівартості, стабільна якість, підвищений вихід і зниження енерговитрат. Наведено перспективи впровадження в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ДРІЖДЖІ, БЕЗПЕРЕРВНЕ КУЛЬТИВУВАННЯ, ФЕРМЕНТЕР.

Introduction. Bread is one of the most important food products, providing a significant portion of calories and micronutrients for humans. In bread production, the key factor is dough leavening, which in most cases occurs due to yeast fermentation. *Saccharomyces cerevisiae*, in the form of baker's yeast, produces carbon dioxide and promotes the formation of a soft, porous structure. Thus, the efficiency and reliability of the yeast directly affect the final product quality [1].

Types and production of yeast. Baker's yeast is a purified culture of microorganisms (mainly *Saccharomyces cerevisiae*) that ferment sugars, releasing carbon dioxide and alcohol. This ensures dough rising, forming a porous structure, pleasant aroma, and volume. In the food industry, yeast is classified by form of release: compressed (wet), dry, and instant (fast-soluble). Another classification is by purpose (for bread, for pastry) and by environmental tolerance (osmo- or thermotolerant strains) [2].

The technologies for baker's yeast production include batch cultivation, semi-continuous growth with multiple inoculation stages, and modern continuous cultivation, which significantly increases productivity due to automated maintenance of optimal growth parameters. Separately, technologies using food-industry by-products as nutrient media are distinguished, improving both environmental and economic efficiency [3, 4].

Description of the technological process. All existing schemes involve continuous biomass accumulation. The process usually proceeds in three stages (A, B, C), which yield respectively: A – seed yeast of pure culture (PC) and natural-pure culture (NPC); B – inoculum yeast; C – commercial yeast.

Below is a description of one of the most typical technological schemes for producing baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. According to this process, the Kyiv-21 and Odesa-14 strains of baker's yeast are cultivated. This scheme belongs to continuous types and was developed by E.A. Plevako and N.M. Semikhatova [5, 6].

The technological process of yeast production is highly complex and includes many auxiliary operations, such as obtaining inoculum, preparing the nutrient medium, preparing washing solutions (caustic soda, nitric acid, mineral salts, aqueous ammonia), antifoam preparation, and air supply for aeration.

The principal technological scheme of baker's yeast production is shown in Figure 1 [4–7]. The scheme provides for the production of seed and inoculum yeast by the batch method, and commercial yeast in two phases.

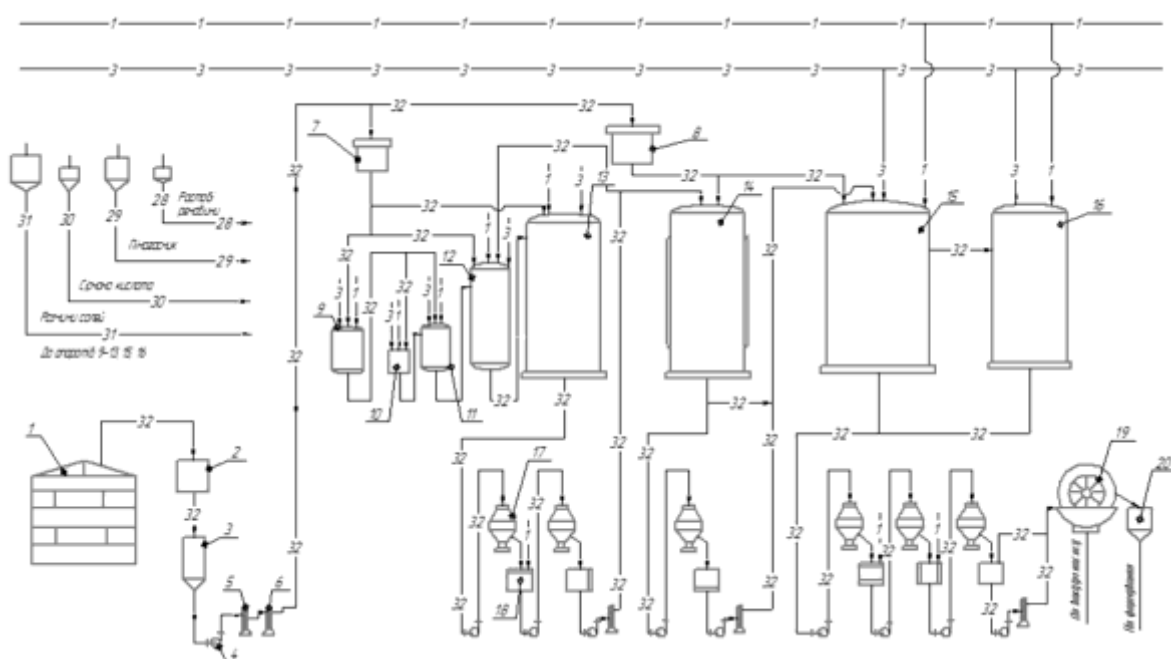
The first phase – the accumulation stage – aims to cultivate in the generator vessel a “working mass” of yeast with high generative activity, capable of providing hourly biomass growth according to the production schedule (e.g., 500 kg h⁻¹). The feed rate of the nutrient medium corresponds to the expected biomass increase.

The second phase involves continuous culture growth and withdrawal of the product into a separation vessel. In this apparatus, the yeast matures for about one hour and is directed to separators. For normal maturation, two alternating separation vessels are installed. The continuous cycle lasts 10–14 hours, after which feeding stops, the yeast in the generator matures, and is then sent to the separators.

Process efficiency is ensured by balancing the culture growth rate with the outflow rate of the medium. Increasing the outflow rate causes yeast washout from the generator. Seed yeast is prepared from a pure culture free from bacteria and wild yeast that reduce yield and negatively affect leavening power. Mother yeast of pure (PC) and natural-pure (NPC) cultures is first obtained under laboratory conditions and then in the pure-culture department. In this department, mother yeast is propagated according to the scheme: small inoculator → large inoculator → PC-1 apparatus (mother inoculator) → PC-2 apparatus (intermediate stage of mother

yeast). The final stage is carried out in the main production facility. Inoculators are special vessels designed for yeast propagation under sterile conditions.

Commercial yeast is then separated from the fermentation broth, washed with water, pressed, and shaped [4]. The process of baker's yeast cultivation shown in Figure 1 is described in more detail below.



- 1 – molasses storage; 2 – molasses pressure tank; 3 – mixer; 4 – pump;
 5 – sterilizer; 6 – cooling heat exchanger; 7 – nutrient medium feed apparatus;
 8 – two-stage feed apparatus; 9 – nutrient medium sterilizer; 10 – small inoculator; 11 – large inoculator; 12 – first-stage yeast cultivation fermenter; 13 – second-stage fermenter; 14 – first-stage commercial yeast fermenter (B); 15 – second-stage commercial yeast fermenter (C); 16 – separation apparatus; 17 – separator;
 18 – intermediate tank; 19 – drum filter; 20 – collector

Figure 1 – Principal technological scheme of baker's yeast production

Molasses from the storage (1) is pumped through the pressure tank (2) into the mixer (3), where it is clarified, diluted with water, acidified, and then pumped by (4) to the sterilizer (5). Afterwards, the molasses is cooled in the heat exchanger (6).

The clarified and diluted molasses is divided into two flows: one directed to the nutrient-medium feed apparatus (7) for producing PC and NPC yeast, and the other to apparatus (8) for two-stage commercial yeast production. In the pure-culture department, the nutrient medium is sterilized in sterilizer (9) and then transferred to the small (10) and large (11) inoculators. Pure yeast cultures are grown sequentially in two stages in cultivation fermenters. PC-1 and EPC-1 yeast are sent to fermenter (12), while PC-2 and EPC-2 yeast are sent to fermenter (13).

The natural-pure culture I is pumped to separator (17) for concentration and then to intermediate tank (18). At the second concentration stage, separator 171 and concentrate tank 181 are used. After cooling in heat exchanger 61, the yeast suspension enters fermenter (14) for the first stage of commercial yeast growth. From this vessel, the yeast mass with higher microorganism concentration is pumped through separator 172 and concentrate tank 182 via pump 42 to cooling exchanger 62 and then to fermenter (15) for the second stage of commercial yeast cultivation. From fermenter 15, the yeast is directed to separation apparatus 16.

Concentration of commercial yeast proceeds in three stages through separators 173, 174, and 175. In the first two stages, the yeast suspension is washed with water and sent sequentially to tanks 183 and 184. The thickened yeast milk from tank 185 is cooled and pumped to drum filter 19. Pressed yeast from collector 20 then goes to automated lines for molding and packaging.

Water, according to the technological regulations (flow 1), is distributed to various units (9–13, 15–18 and others). Air is a critical technological factor in baker's yeast production. Filtered air is supplied by the blower to the technological cycle (positions 9–13, 15, 16; flow 3). Exhaust air containing CO₂ and impurities is discharged into the atmosphere.

Stations for nutrients, antifoams, antiseptic and salt solutions are equipped with special measuring tanks. Solutions from these tanks are fed to apparatus 9–13, 15, 16 (flows 28–31) [4–7].

The designed fermenter is located after inoculator 11, where primary biomass growth occurs. The primary biomass then enters the first-stage yeast cultivation fermenter 12, where the first-stage PC yeast is grown. The main task of the apparatus is to ensure culture growth under specified parameters. This study involves the design and modernization of the mentioned fermenter.

Conclusion: The process of baker's yeast production is multi-stage, technologically complex, and requires strict control of parameters at each step – from nutrient-medium preparation to yeast biomass separation and pressing. In continuous cultivation schemes, particularly by the Plevako–Semikhatova method, high productivity is achieved through the combination of batch production of seed yeast and continuous growth of the commercial culture in a two-phase mode. The key efficiency factors include the balance between growth and medium outflow rates, sterility, and precise control of aeration and temperature.

References:

1. Drobot, V. I. Handbook on Bakery Production Technology. 2nd ed., revised and supplemented. Kyiv: ProfKnyha, 2019. 580 p.
2. 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>
3. Maribel Abadias, Guillem Segarra, Cristina Solsona, Ingrid Aguiló-Aguayo, Maria Gómez, Rosario Torres, Neus Teixidó, Production of *Saccharomyces cerevisiae* from agricultural and food processing wastes // Applied Food Research. – 2025. – Vol. 5, No. 1. – P. 100659. – DOI: 10.1016/j.afres.2024.100659.
4. Yeast production: raw materials and main stages of the technological process. [Electronic resource]. Available at: <https://www.systopt.com.ua/article-vyrobnyctvo-drizhdzhiv-syrovyna-i-osnovni-stadiyi-tehnologichnogo-procesu> (дата звернення 10.2025).

5. Plevako, E. A. Technology of Yeast. 2nd ed., revised and supplemented. M: Food Industry, 1970. 300 p.
6. Semikhatova, N. M. Baker's Yeast. M: Food Industry, 1980. 199 p.
7. Novakovskaya, S. S., and Y. I. Shishatsky. Production of Baker's Yeast: Handbook. 3rd ed., revised and supplemented. M: Agropromizdat, 1990. 335 p.

УДК 66.062.53

**ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕНСИФІКУЮЧОГО ВПЛИВУ
ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВОДИ В
ТЕХНОЛОГІЯХ ВІДНОВЛЕННЯ СОКІВ**

к.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: Авторами вивчено можливість підвищення ефективності дегазації води в технологіях відновлення кислих соків за рахунок використання в циклі вакуумної дегазації інтенсифікуючого впливу гідродинамічної кавітації. Запропоновано реалізовувати процес в кавітаційному апараті роторно-пульсаційного типу.

ABSTRACT: The authors considered the possibility of increasing the efficiency of water degassing in acidic juice recovery technologies due to the use in the vacuum degassing cycle of the additional intensifying effect of hydrodynamic cavitation, which is proposed to be implemented in a rotary-pulsation type cavitation apparatus.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дегазація, вода, роторно-пульсаційний апарат

KEYWORDS: degassing, water, rotary pulsation apparatus

Вода є одним з головних компонентів в технологіях виробництва харчових продуктів, оскільки присутня на всіх етапах. Якість її підготовки визначає смакові властивості продукту та стабільність протягом всього терміну зберігання. Одним з невід'ємних етапів її підготовки є дегазація, яка включає вилучення розчинених газів (вуглекислого газу, кисню, азоту). Даний процес набуває дедалі більшої актуальності в сучасній харчовій промисловості через зростаючі вимоги до якості та безпеки продукції, а особливо це стосується сфери виробництва соковмісних напоїв, вин, пива, відновлення концентратів, молочних продуктів, консервів. Присутність розчинених газів у воді під час

виробництва цих продуктів спричиняє в подальшому окислення аскорбінової кислоти, погіршення смакових якостей, кольору, консистенції продукту, створює умови розвитку шкідливої мікрофлори. В деяких видах виробництва, наприклад, при відновленні соків на етапі розчинення та змішування компонентів, присутність розчинених газів у воді спричиняє утворення піни, що значно ускладнює процес виробництва. В промислових умовах на сьогоднішній день дегазацію води проводять переважно у вакуумних дегазаторах. На підприємствах меншої потужності перевагу віддають мембранному обладнанню. Причиною такої ситуації є потреба у системному очищенні мембран та їх частоті заміни, що ускладнює процес виробництва та вимагає додаткових капіталовкладень. Найменш розповсюдженою є термічна дегазація, що пояснюється високими енерговитратами. На основі проаналізованого, авторами розглянуто можливість підвищення ефективності вакуумної дегазації води за рахунок використання роторно-пульсаційного апарату на основі оцінки концентрації залишкового кисню.

Методи. Аналіз та дослідження проводились з використанням методичних підходів.

Результати. Доведено ефективність використання роторно-пульсаційного апарату в комплексі з вакуумною дегазацією за динамікою зниження концентрації кисню з 5.6 до 2.0 мг/л. Для порівняння, при обробці вакуумною дегазацією зниження становило до 4.7 мг/л за аналогічний час обробки. Рекомендованим є цикл, що передбачає обробку протягом 4 хвилин з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа. Встановлено, що для пропонованого режиму можливо досягати підвищення рН на 1.18, зниження ОВП та електропровідності. Отримана динаміка цих показників дозволить в подальшому інтенсифікувати процес розчинення та досягти підвищення масової частки розчинних сухих речовин в технологіях відновлення соків.

Висновки. Доведено ефективність використання кавітаційного апарату

роторно-пульсаційного типу в комплексі з вакуумною дегазацією на прикладі відновлення кислих соків.

УДК 532.538

**ОСОБЛИВОСТІ ІНІЦЮВАННЯ КАВІТАЦІЇ У
ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ЕКСТРАКТОРІ З КОМБІНОВАНИМ
ГІДРОДИНАМІЧНИМ ПРИСТРОЄМ**

пр.н.с., д.т.н. Іваницький Г. К., с.н.с., к.т.н. Гоженко Л. П., с.н.с., к.т.н.

Радченко Н. Л., пр.н.с., к.т.н. Целень Б. Я., с.н.с., к.т.н. Недбайло А. Є.

Інститут технічної теплофізики НАН України

***Анотація.** Виконано аналітичні дослідження, що дозволяють визначити додаткові способи інтенсифікації кавітаційних ефектів у пульсаційному екстракторі, який працює в режимі кавітаційного реактора. Розглянуто принцип роботи пульсаційного екстрактора з комбінованим гідродинамічним пристроєм, в якому ініціюється потужний комплекс кавітаційних механізмів, що інтенсифікує процес екстракції різної сировини з широким спектром властивостей при порівняно невеликих енергозатратах.*

Ключові слова: пульсаційний екстрактор, гідродинамічна кавітація, сопло Вентурі, моделювання, енергоефективність.

На сьогодні науково обґрунтовано доцільність застосування кавітаційного механізму в технологічних апаратах [1]. В ІТТФ НАН України на основі модифікації існуючого кавітаційного пульсатора [2], створено принципово новий тип екстрактора пульсаційного типу, в якому вперше, для посилення кавітаційних ефектів, застосовано комбінований гідродинамічний пристрій. Новизна конструкції полягає в тому, що в середину з'єднувальної труби між камерою та ємністю розміщено сопло Вентурі заданої геометрії. При проходженні в трубі рідини, швидкість якої періодично змінюється за величиною і напрямом, у соплі відбувається періодична зміна тиску і створюються динамічні кавітаційні ефекти, що сукупно сприяє конвективному переносу цільової речовини через капіляри і пори частинок сировини. Як

показали попередні дослідження апарата, застосування в пульсаційному екстракторі сопла Вентурі суттєво скорочує час екстракції, створює можливість роздрібнюватися частинки і суттєво збільшити за рахунок цього вихід цільової речовини. Ще однією особливістю конструкції апарата є те, що, на відміну від традиційної схеми, робочу камеру розміщено під завантажувальною ємністю.

Нова конструкція апарата не впливає на його режими роботи, але запобігає накопиченню повітря всередині робочої камери в процесі роботи, що посилює ефективність кавітаційної дії. У даному випадку в соплі Вентурі періодично змінюється швидкість і напрямок течії через сопло, що потребує спеціальної розробки аналітичної методики розрахунку оптимальних режимів роботи апарата. Зазвичай сопло Вентурі, при застосуванні його в системах рециркуляції в якості кавітатора, працює в умовах, коли через сопло безперервно проходить стаціонарний турбулентний і односпрямований потік рідини. Це дозволяє визначити раціональну геометрію сопла і оптимальні режими його роботи.

У пульсаційному екстракторі з комбінованим гідродинамічним пристроєм ініціюється широкий комплекс кавітаційних механізмів, що дозволяє обробляти сировину з широким спектром структурно-механічних і реологічних характеристик при порівняно невеликих енерговитратах. Особливість проектування тепло технологій з використанням нового апарата полягає у дослідженні основних динамічних ефектів у пульсаційному екстракторі з комбінованим гідродинамічним пристроєм залежно від зміни тиску в рідині з часом, залежностей зміни з часом розміру бульбашок кавітаційного кластера та імпульсів тиску при кавітаційному захопленні бульбашок кластера у цих зонах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Parag, R. Gogate, P.R. (2011). Hydrodynamic Cavitation for Food and Water Processing. Food Bioprocess Technol., 4(6), 996–1011

2. Іваницький Г. К., Чайка О. І., Гоженко Л.П. Застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстрагування з рослинної сировини. Наукові праці ОНАХТ. 2015. № 47 (2). 138 – 142.
<https://doi.org/10.15673/swonaft.v1i47.419>

UDC 665.612.2

SELECTION OF A HEAT EXCHANGER FOR HEATING SULFURIC ACID IN A HYDROGEN FLUORIDE PRODUCTION UNIT

Student Pakholchenko T. O., Ph.D., Associate Professor Novokhat O. A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *This work indicates the role of hydrogen fluoride at the present time. The process of hydrogen fluoride production is described. A type of heat exchanger for heating and cooling substances is proposed and a description of its design and heat exchange processes in it is given.*

KEYWORDS: HYDROGEN FLUORIDE, CALCIUM FLUORIDE, SULPHURIC ACID, SHELL-TUBE HEAT EXCHANGER, HEAT EXCHANGE.

ВИБІР ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ НАГРІВУ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ФТОРИСТОГО ВОДНЮ

Студент Пахольченко Т. О., к. т. н., доцент Новохат О. А.

Національний технічний університет України

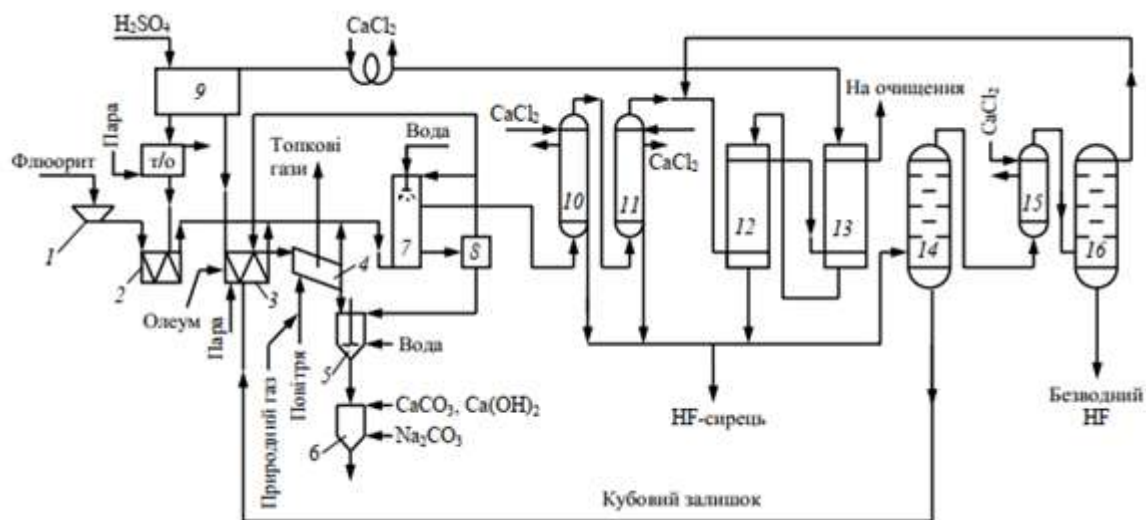
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі вказана роль фтористого водню на теперішній час. Описано процес виготовлення фтористого водню. Запропоновано тип теплообмінника для нагрівання та охолодження речовин та наведено опис його конструкції і теплообмінних процесів в ньому.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФТОРИСТИЙ ВОДЕНЬ, ФТОРИД КАЛЬЦІЮ, СІРЧАНА КИСЛОТА, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ТЕПЛООБМІН.

Hydrogen fluoride plays an important role in the modern technology of fluorine and fluoride compounds production. It is used in industry to obtain various fluorides, primarily aluminum fluoride, cryolite, uranium tetrafluoride, without which it is impossible to create a modern aluminum industry and nuclear power.

The technological scheme of hydrogen fluoride production is shown in Figure 1.



1 – hopper; 2, 3 – mixers; 4 – furnace; 5 – repulper-settler; 6 – thickener; 7 – scrubber; 8 – collector; 9 – sulfuric acid tank; 10, 11, 15 – condensers; 12, 13 – absorbers; 14, 16 – rectification columns; t/o – heat exchanger

Figure 1. Technological scheme of the production of anhydrous hydrogen fluoride by sulfuric acid decomposition of fluorite

Sulfuric acid entering the tank is divided into three streams. In the first stream, it is heated in a heat exchanger to 120–130 °C and then enters the first mixer. Fluorite fluorspar is dosed here from the bunker.

The second stream is directed to the second mixer, where it is heated to a temperature of 135–140 °C. Oleum, bottoms residue and mudstone acid are also fed here.

The reaction mixture from the second mixer enters the drum furnace, in which the temperature is maintained at 200–250 °C due to external heating to a temperature of 700°C.

During mixing in the mixer, hydrogen fluoride is released into the gas phase. The remaining hydrogen fluoride is released in the drum furnace. These gas streams are combined into one and sent for purification and drying. First, the flow enters the scrubber, where it is cooled and undergoes primary purification. After compaction in the collector, solid particles are sent to the repulper-

settler, and the acid, called mud acid, to the mixer and to the scrubber irrigation. Hydrofluoric acid is supplied for cooling and further rectification. For this, the gas from the scrubber is fed to heat exchangers-condensers, which are cooled with a calcium chloride solution.

For better extraction of hydrogen fluoride, the gas is moved to absorbers. The last absorber is fed from the tank with cooled sulfuric acid. Gases from the rectification column are also fed for absorption.

The absorption solution is mixed with liquid hydrogen fluoride obtained at the condensation stage. The result is raw hydrogen fluoride, which is first fed for rectification into a rectification column, in which high-boiling impurities are separated. Hydrogen fluoride vapors with impurities of silicon fluoride and sulfur dioxide enter a heat exchanger, in which a calcium chloride solution with a temperature of minus 20 ° C circulates. Then the formed gas enters a second rectification column, from which an anhydrous hydrogen fluoride solution flows out.

The bottoms from the column enter the mixer. The furnace also produces fluorogypsum with hydrogen fluoride, calcium fluoride, and sulfuric acid. The fluorogypsum is discharged into a repulper, where it is sequentially treated with water, then sent to a neutralizer-mixer for treatment with chalk suspension, soda solution, or milk of lime. [1]

Analyzing the process of producing hydrogen fluoride, we can conclude. It is necessary to choose a heat exchanger that takes into account significant temperature stresses. For example, a heat exchanger with U-shaped pipes, or with a compensator (expansion bellows), with a floating head. It was decided to choose a shell-and-tube heat exchanger with a floating head.

The shell-and-tube heat exchanger with a floating head is characterized by compensation of temperature differences in heat exchanges, which ensures its effective functioning in a wide range of temperatures and pressures during heat exchange between both liquid and vapor media. High resistance to temperature

influences is due to the design features of the device - the presence of a floating head, which compensates for the thermal expansion of the tube bundle relative to the housing. This allows you to avoid the occurrence of thermal stresses, which increases operational reliability and extends the service life of the equipment. It also provides convenient access for cleaning the external and internal surfaces of the tubes or replacing damaged tubes. The structure of the shell-and-tube heat exchanger with a floating head consists of the casing itself (housing), tube bundle, floating head, fixed tube grid (which is located at the opposite end from the floating head), covers (front and rear), partitions, and nozzles. Figure 2 shows a shell-and-tube heat exchanger with a floating head, designed for cooling (heating) liquid or gaseous media without changing their state of aggregation.

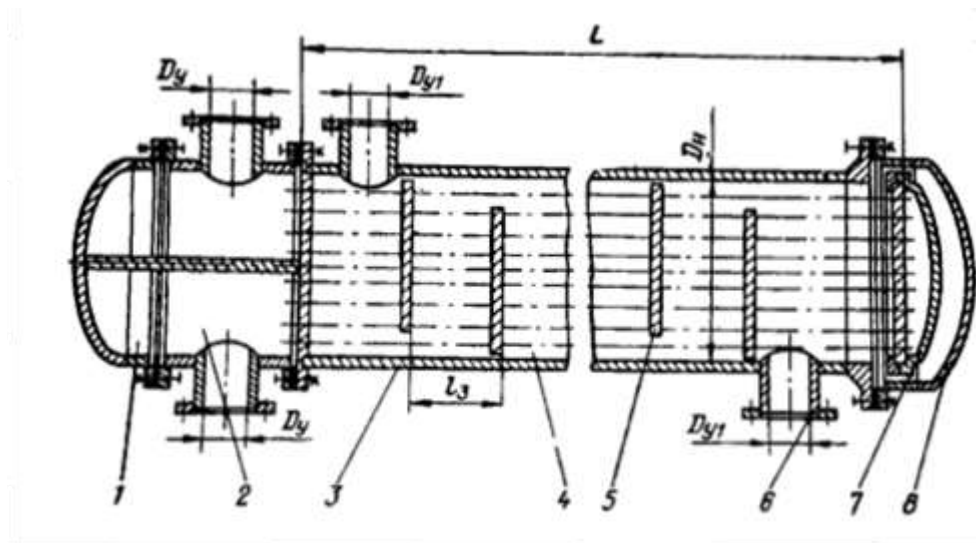
A shell-and-tube heat exchanger with a floating head operates on the principle of indirect heat transfer between two working media separated by the walls of the tube bundle. One medium moves inside the tubes (internal circuit), while the other circulates in the intertube space formed by the casing.

The floating head provides free axial movement of one of the tube grids. This allows to compensate for temperature deformations that occur due to the temperature difference between the tubes and the casing, and also prevents the appearance of internal stresses and damage to structural elements.

Heat transfer is carried out from a hot to a cold medium through the tube walls under the influence of their temperature difference, which is the driving force of the heat exchange process.

This heat exchange process is called heat transfer, which affects the heat transfer from the coolant (steam) to the outer surface of the tubes, thermal conductivity through the tube wall and heat transfer from the inner surface of the tube to the cold medium. It is advisable to use water vapor as a heat carrier. After all, during its condensation, a large amount of heat is released. Due to the properties of

heat carriers, water vapor is supplied to the intertube space, and sulfuric acid to the tube space.



1 – distribution chamber cover; 2 – distribution chamber; 3 – casing; 4 – heat exchange pipes; 5 – partition with segmental cutout; 6 – fitting; 7 – floating head cover; 8 – casing cover.

Figure 2 – Shell-and-tube heat exchanger with floating head

References:

1. Automation of typical technological processes: technological control objects and automation schemes [Text]: a teaching aid for students of higher educational institutions studying in the field of "Automation and computer-integrated technologies" / M. V. Lukinyuk. – Kyiv: NTUU "KPI", 2008. – 236 p.: ill. – Bibliography: p. 230-231. – 200

2. Floating Head Heat Exchanger Design Authors: Alseddiq Oday University of Tikrit
https://www.researchgate.net/publication/373238714_Floating_Head_Heat_Exchangeer_Design

3. Design and Analysis of Floating Head Heat Exchanger
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4285106

4. <https://www.dfctank.com/news/complete-guide-to-floating-head-heat-exchanger.html>

PROCESSES OF HEAT TRANSFER IN THERMAL ENERGY STORAGE EQUIPMENT

student A.V. Tarasenko, assoc. Prof. A.R. Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ABSTRACT. *The purpose, object, and subject of the study have been formulated. The key research directions are described. The work focuses on determining heat-transfer parameters and developing principles for the efficient utilization of excess thermal energy.*

KEY WORDS: HEAT TRANSFER, THERMAL EXCHANGE, THERMAL ENERGY, EFFICIENCY.

ПРОЦЕСИ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛА В ТЕПЛОАКУМУЮЧОМУ ОБЛАДНАННІ

Аспірант А.В. Тарасенко, к.т.н., доцент А. Р. Романюк

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. *Сформульовано мету, об'єкт та предмет дослідження. Описано напрями досліджень. Робота спрямована на визначення параметрів теплообміну та розробку принципів ефективного використання надлишкової теплової енергії.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА, ТЕПЛООБМІН, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

Introduction. Efficient recovery and storage of thermal energy are crucial for reducing energy losses in modern systems. A significant portion of the heat generated by power plants and boiler facilities remains unused, particularly during periods of low thermal demand. To address this, it is recommended to employ materials with phase transition properties. Phase change materials (PCM) can absorb and release

heat during phase transitions, enabling thermal energy accumulation during low-demand periods and its release during peak consumption. The practical application of PCM requires studying its heat-exchange conditions to ensure the required technological parameters and to guarantee reliable and long-term operation of the system [1].

Purpose, Object, and Subject of the Study. The purpose of the study is to substantiate the principles of designing efficient thermal energy storage systems and to determine optimal heat-transfer parameters. The object of the research is the heat exchange between the PCM-based thermal storage device and subsequent household energy utilization during charging and discharging cycles. The subject of the research comprises technological parameters affecting heat-transfer efficiency, such as geometry, material properties, and flow regimes. The experiments are planned using equipment that enables the determination of latent heat of fusion, phase transition temperatures, and thermal-cycling stability [2].

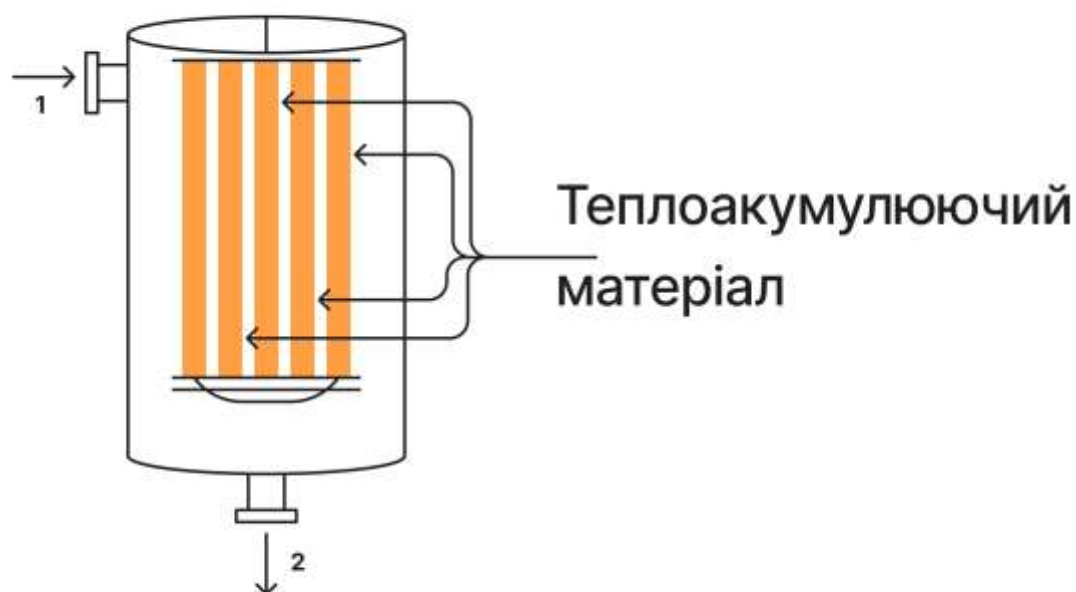


Figure 1. Heating mode of the apparatus from the thermal source: 1- inlet of the heating heat-transfer fluid, 2 – outlet of the heating heat-transfer fluid. Cooling mode (heat release to the room): 1 – inlet of cold air, 2 – outlet of warm air.

The device is designed for studying the processes of thermal energy accumulation and release in a phase change material (paraffin). It consists of an insulated chamber equipped with a heat exchanger through which a heat-transfer fluid circulates. During the charging stage, the heated working fluid transfers thermal energy to the paraffin, which melts and accumulates latent heat.

During the discharging stage, the paraffin solidifies and releases energy through the heat exchanger into the surrounding environment.

Expected Results and Practical Significance. The experimental results will provide data on the thermophysical properties of the heat-transfer medium, allow evaluation of heat-transfer efficiency under static and dynamic conditions, and enable identification of optimal heat-exchanger configurations.

The research outcomes are aimed at creating a thermal-storage module for reusing waste heat from boiler facilities and applying it for autonomous room heating [3].

Conclusions

1. A conceptual framework for studying heat transfer in thermal energy storage systems using PCM has been developed.
2. A description of the thermal-storage apparatus has been presented.

References

1. Demchenko, V.G., Konik, A.V., & 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, R.I., & Kutnyi, B.A. (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.

UDC 630

DISTRIBUTED ANNUAL WASTE IN THE TERRITORIES OF UNITED COMMUNITIES AS A RAW MATERIAL BASE FOR A CLOSED-CYCLE ECONOMY

Kremnev V., Timoshchenko A., Belyaev G., Belyaeva I., Korbut N.,
Stetsuk V., Zhukov K.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ABSTRACT. *The paper is devoted to identifying characteristic wastes and considering various aspects of creating a sustainable system for their recycling, as well as predicting environmental, social, and economic consequences for the development of territories.*

KEYWORDS: WASTE OF BIOLOGICAL ORIGIN, ALTERNATIVE FUEL, BIOFERTILIZER, UNITED TERRITORIAL COMMUNITIES.

**РОЗПОВСЮДЖЕНІ ЩОРІЧНІ ВІДХОДИ НА ТЕРИТОРІЇ
ОБ'ЄДНАНИХ ГРОМАД ЯК СИРОВИННА БАЗА ЕКОНОМІКИ
ЗАМКНЕНОГО ЦИКЛУ**

Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Корбут Н.С.,
Стецюк В.Г., Жуков К.Л.

Інститут технічної теплофізики НАН України

АНОТАЦІЯ. *Робота присвячена визначенню характерних відходів та розгляду різних аспектів створення сталої системи їх переробки, а також прогнозу екологічних, соціальних та економічних наслідків на розвиток територій.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІДХОДИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО, БІОДОБРИВО, ОБ'ЄДНАНІ ТЕРИТОРІАЛЬНІ

ГРОМАДИ.

The purpose of the work. The main goal of our work is to help convert as much of the widespread annual waste as possible, which is currently subject to destruction, into the category of valuable raw materials for the cost-effective production of commercial products.

Results. The work is devoted to defining typical wastes and considering various aspects of creating a sustainable system for their recycling, as well as forecasting the environmental, social and economic consequences for the development of territories.

In particular, the following issues are highlighted:

- ✓ widespread local resource-value waste on the territory of united territorial communities and alternative methods of their processing;
- ✓ expected impact of the production and use of local alternative fuel based on illiquid renewable forestry waste on the development of united territorial communities;
- ✓ utilization of solid waste of biological origin, as an opportunity to significantly reduce the negative impact of landfill operation;
- ✓ use of solid waste of biological origin typical for urbanized areas in the production of biofertilizers, as a factor in improving the environment and social situation;
- ✓ coordination of the disposal of various local waste of biological origin, as a condition for the sustainable development of united territorial communities;
- ✓ measures and risks in the disposal of waste of biological origin [1,2,3].

Conclusions.

Substantiation of the prospects for the utilization of each type of waste requires the development of a set of technical solutions based on a systemic approach,

organizational and technical measures and business plans, which are a necessary condition for attracting private capital to public-private partnerships in solving the problem of disposal of widespread waste of biological origin.

In our opinion, such a partnership is possible in the form of territorial targeted scientific and technical programs involving local communities, scientific institutions and business representatives.

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 ресурсоінних відходів біологічного походження на території об'єднаних територіальних громад/ Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій 2022. 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> .

2. 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.

3. 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. 48-49. <http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/10/zbirka-tez-povna.pdf>.

UDC 678.742.2

MODERNIZATION OF THE REACTOR AGITATION DEVICE FOR THE PRODUCTION OF THE ZIGLER-NATTA CATALYST

Ph.D. Husarova O.V.^{1, 2}, Ph.D. Dakhnenko V.²,

master student Bielokon A.I.¹

¹ National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

² Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ANNOTATION: *The design of a reactor with a stirring device for producing a Ziegler-Natta catalyst used in the production of high-density polyethylene under low pressure is considered. Based on a review of the literature, an idea for modernizing the stirring device is proposed, followed by modeling to confirm the feasibility of the proposed idea.*

KEYWORDS: REACTOR, ZIGLER-NATTA CATALYST, MODERNIZATION OF THE MIXING DEVICE, HIGH-DENSITY POLYETHYLENE

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕРЕМІШУЮЧОГО ПРИСТРОЮ РЕАКТОРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КАТАЛІЗАТОРА ЦІГЛЕРА-НАТТА

ст. викладачка, канд. техн. наук Гусарова О.В.^{1, 2},

канд. техн. наук, ст. наук. співр. Дахненко В.Л.², магістр Белоконь А.І.¹

¹ Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто конструкцію реактора із перемішуючим пристроєм для одержання каталізатора Циглера-Натта який використовується для виробництва поліетилену високої густини під низьким тиском. На підставі узагальнення літературних даних запропоновано ідею модернізації перемішуючого пристрою з подальшим моделювання для підтвердження доцільності запропонованої ідеї.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕАКТОР, КАТАЛІЗАТОР ЦИГЛЕРА-НАТТА, МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕРЕМІШУЮЧОГО ПРИСТРОЮ, ПОЛІЕТИЛЕН ВИСОКОЇ ГУСТИНИ

Introduction

High-density polyethylene is a thermoplastic polymer that is widely used due to its physical and mechanical properties, such as high strength, chemical resistance, and low moisture permeability. This type of polyethylene is produced by low-pressure polymerization of ethylene in the presence of Ziegler-Natta catalysts [1-3].

The catalytic complex is obtained in a reactor with a stirring device based on diethylaluminum chloride and titanium tetrachloride. It precipitates from the solution as a dispersed (colloidal) dark powder with a rather complex structure. This catalyst provides an ion-coordination polymerization mechanism, which allows obtaining linear polymers with a high degree of crystallinity [1-3].

An important factor affecting the course of the process and the properties of the polymer is the ratio of the starting materials in the preparation of the catalyst. The preparation of the catalyst complex is carried out at a temperature of about 30 °C. The reaction is accompanied by the release of heat, since it is exothermic [1-3].

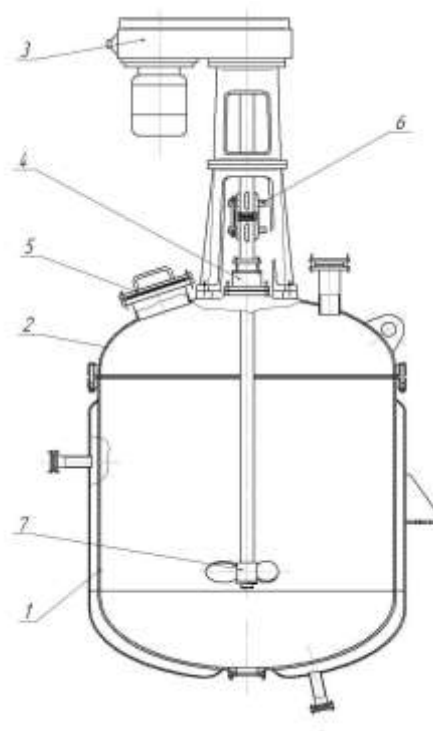
During the preparation of the catalyst complex, it is important to ensure the quality of the final product, hydrodynamic mixing conditions, optimal time, temperature, component ratio, and heat removal.

Description of the reactor for obtaining the catalyst complex

To perform the specified catalyst manufacturing process, the optimal choice would be a reactor with a propeller stirrer, which provides the necessary hydrodynamic mixing conditions and U-shaped

Description of the reactor for obtaining the catalyst complex

To perform the specified catalyst manufacturing process, the optimal choice would be a reactor with a propeller stirrer, which provides the necessary hydrodynamic mixing conditions, and a U-shaped jacket that effectively removes the heat generated during the reaction. During operation, heat exchange occurs between the catalyst complex and the cooling water. The reactor diagram is shown in Figure 1.



- 1 – body; 2 – reactor cover; 3 – drive; 4 – gland seal; 5 – hatch cover; 6 – coupling;
7 – propeller agitator

Figure 1 – Structural diagram of a reactor with a mixing device

The reactor consists of a body 1 with a jacket welded to it, four supports, and fittings for supplying and removing cooling water to the jacket; a cover 2 with fittings

for introducing reagents and a thermometer sleeve; a mixing device with a propeller stirrer 7; a vertical drive 3 with a V-belt transmission and a stand for its mounting. The agitator shaft is connected via a coupling 6 to the drive shaft and equipped with a gland seal 4, which is installed in the cover of the apparatus. Additionally, the cover has a hatch 5, which is used for visual observation of the internal volume of the apparatus and performing auxiliary operations.

Purpose of the work

The purpose of the work is to modernize the reactor mixing device for the preparation of the Ziegler-Natta catalyst and further computer simulation of the process in the SolidWorks environment.

Materials and methods

SolidWorks is a powerful CAD (computer-aided design) software package, its main purpose is to automate the work of industrial enterprises at the stages of design and technological preparation of production, providing an end-to-end process for designing products of any complexity.

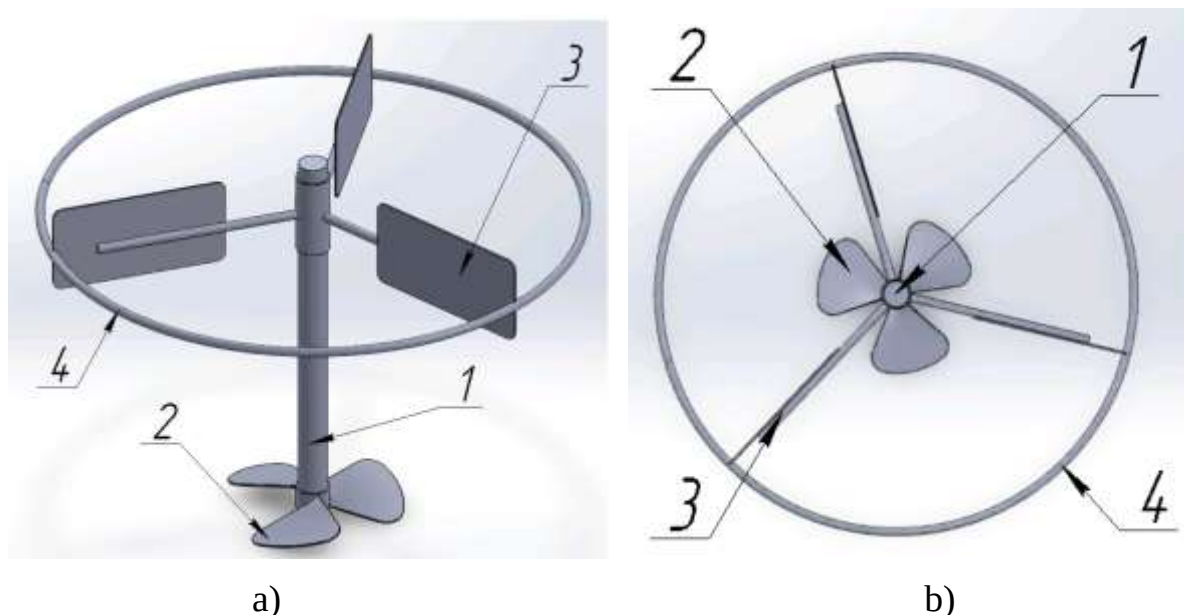
SolidWorks is a solid parametric modeling design system that allows engineers to develop 3D models of parts and assemblies, create 2D drawings from them, perform engineering analysis (e.g., strength, dynamics of mechanisms) using modules such as SolidWorks Simulation and SolidWorks Motion, and simulate sheet metal parts [4].

Modernization of the mixing device

To improve the hydrodynamic conditions of mixing, it is proposed to modernize the mixing device. The idea of modernization implemented in SolidWorks is shown in Figure 2.

The mixer contains a standard propeller mixing device 2 in the lower tier, which provides axial fluid flows and thoroughly stirs up the sediment, and a blade (radial) device 3 in the upper tier, Figure 2a. Three straight rectangular blades 3 are arranged in a staggered order relative to the lower tier, Figure 2b. The blades are

oriented to create a downward flow, counter to the upward flow from the propeller mixer.



1 – shaft, 2 – propeller mixer, 3 – blades, 4 – stiffening ring

Figure 2 – Modernized mixing device

For the rectangular blades of the upper tier, a metal stiffening ring 4 is provided, connecting their outer parts. This is necessary to prevent bending and vibration of large blades, ensuring their durability and stability of hydrodynamic performance.

To identify possible shortcomings and achieve optimal efficiency, a simulation experiment in SolidWorks is planned. By changing the angle of inclination of the upper agitator blades (30°, 45°, 60°, 90°), the optimal angle will be determined, which ensures the best suspension homogeneity with minimum power consumption.

Expected result of modernization

The propeller agitator lifts the sediment, while the paddle agitator captures the upper phase and directs it downward. This forms two intense circulation circuits that completely cover the volume of the apparatus and prevent liquid stagnation. Creating

counterflows is more effective than using a single type of agitator. Thanks to intensive mixing in the central zone, the mixing speed increases significantly. Reducing the time by up to 20% increases the reactor's productivity. This leads to a decrease in specific energy consumption per unit volume.

Conclusions

It was proposed to modernize the reactor's mixing device. The modernization of the mixing device is based on the use of a combined two-stage agitator, which creates counter-axial flows to ensure maximum intensity of mixing of components to obtain a catalyst.

Such a mixer will improve the hydrodynamic conditions of the mixing process, increase the quality of the catalyst, reduce the time spent on the process, and reduce energy costs.

References:

1. Chornobylsky I.I. Polymerization apparatus - Kharkiv book printing house "Communist", 1967. - 163 p.
2. Bratsyhin E.A., Shulgina E.S. Technology of Plastics: A Textbook for Technical Colleges. - 3rd ed., rev. and expanded. - L.: Chemistry, 1982. - 328 p.
3. Husarova O., Bielokon A. Modernization of high-density polyethylene production line with development of reactor and centrifuge // Collection of abstracts of the XXVII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists "Resource and Energy Saving Technologies and Equipment" (November 28, 2024, Kyiv) / Compiled by Y.M. Kornienko. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024. – pp. 27-31.
4. 3D Engineering: SolidWorks [Electronic resource]: lecture notes: textbook for bachelor's degree students in the educational program "Computer-Integrated Technologies for the Design of Chemical Engineering Equipment," specialty 133 Industrial Engineering / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; compiled by: O. A.

Novokhat. – Electronic text data. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
2024. – 250 p.

UDC 628.5:66.002.8

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗПИЛЕННЯ РІДКОЇ ФАЗИ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

д.т.н., проф. Я.М. Корнієнко, аспірант Д.В. Стьопчкін

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: Розглянуто актуальні технологічні аспекти формування багатокомпонентних дихаючих оболонок для насіння пшениці в умовах посилення вимог до прецизійного живлення, біостимуляції та обмеження пестицидних обробок. Проаналізовано переваги нанесення покриттів у псевдозрідженому шарі та вплив гідродинаміки й параметрів диспергування на рівномірність шару, агломерацію та теплове навантаження на насіння. Запропоновано використання неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження для підвищення ефективності тепломасообміну та збереження якості насіння та ротаційного чашового диспергатора з боковою перфорацією для розширення зони зрошення й запобігання агломерації.

ABSTRACT: The study examines relevant technological aspects of forming multi-component breathable coatings for wheat seeds under increasing demands for precision nutrition, biostimulation, and reduced use of pesticide treatments. The advantages of applying coatings in a fluidized bed are analyzed, along with the influence of hydrodynamics and atomization parameters on coating uniformity, agglomeration tendencies, and thermal load on the seeds. The use of nonuniform jet-pulsation fluidization is proposed to enhance heat-and-mass transfer efficiency while preserving seed quality, as well as a rotational cup-type disperser with lateral perforation to expand the effective spraying zone and prevent agglomeration.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: псевдозріджений шар; диспергування рідкої фази; дражування насіння; біологічні та поживні оболонки; агломерація; гідродинаміка; розмір крапель; чашовий диспергатор; струменево-пульсаційні режими;

KEY WORDS: fluidized bed; liquid-phase atomization; seed coating; seed pelleting; nutrient and bioactive coatings; agglomeration; hydrodynamics; droplet size; cup-type disperser; jet-pulsation fluidization.

Сучасні агротехнологічні підходи до вирощування пшениці характеризуються підвищеними вимогами до прецизійного живлення та біостимуляції насіння, на тлі посилення регуляторних обмежень щодо застосування пестицидних протруйників і необхідності раціоналізувати використання мінеральних добрив. У цих умовах зростає інтерес до створення дихаючих багатокомпонентних оболонок із керованими параметрами водо- та газообміну. Найбільш технологічно керованою та придатною до масштабування залишається методика нанесення покриття у псевдозрідженому шарі з введенням рідкої фази всередину зони руху частинок (схеми Wurster/bottom-spray та ін.), де гідродинамічні режими та характеристики диспергування визначають однорідність шару, схильність матеріалу до агломерації та рівень термічного навантаження на життєздатне зерно.

Актуальні літературні дані вказують на критичний вплив положення диспергатора, розміру крапель, витрати рідкої фази та швидкості газового потоку на стабільність процесу та якість сформованої оболонки. Паралельно фіксується зростаючий інтерес до поживних і біологічно активних покриттів, здатних підвищувати стресостійкість рослин та ефективність використання добрив. Водночас комплексне завдання узгодження інтенсивного диспергування з фізіолого-технологічними обмеженнями «живого» насіння — забезпечення кисневого режиму, уникнення локального перезволоження та

перегріву — досі не сформульоване у вигляді надійних інженерних критеріїв [5].

Глобальний ринок матеріалів для покриття насіння (барвники, полімери, наповнювачі та інші добавки) у 2019 році оцінювався у 1,8 млрд доларів США, і за прогнозами до 2025 року має зрости до 3,0 млрд доларів США. Основну частку активних інгредієнтів становлять хімічні засоби для обробки насіння, ринкова вартість яких у 2020 році оцінювалася в 3–5 млрд доларів США, тобто не менше ніж 2/3 від загального ринку [6].

Дражування формує кероване середовище для стартового росту (волога, газообмін, поживні речовини, захист), але для пшениці особливо важливими є повітро- та вологопроникність оболонки, уникнення локального перезволоження та перегріву, а також запобігання агломерації. Типові промислові способи введення рідини в апаратах із псевдозрідженим шаром — розпилення над шаром, у шарі (тип ProCell) та циркуляційні схеми Wurster — обмежують активне об'ємне перемішування і часто реалізують агломераційний механізм, що для гетерогенних суспензій і насіння підвищує ризик застійних зон і налипання [3].

Серед різних підходів застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження дає змогу підвищити щонайменше на 50% використання теплоти при збереженні рівномірної рушійної сили тепломасообміну у всьому об'ємі зернистого шару гранулятора.

У порівнянні з дисковими розпилювачами, чашовий диспергатор із бічною перфорацією суттєво розширює об'єм «ефективного» зрошення і забезпечує стабільну кінетику пошарового наростання без агломерації; у відповідних роботах для гетерогенних систем зафіксовано високі коефіцієнти грануляції та кратне зростання продуктивності саме завдяки збільшенню зони зрошення і рециркуляції через чашу [2].

Тож щоб усунути наявні обмеження, пропонується поєднати:

– неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження, що циклічно «сканує» шар і запобігає застою на газорозподільній решітці [1];

– ротаційний чашовий диспергатор з перфорованою бічною поверхнею, який істотно збільшує геометрію зони зрошення та формує вентилеподібний викид зволжених частинок у шар із подальшим їх розведенням сухим зерном, забезпечуючи пошарове наростання без рідинних «містків» і агломерації; середній розмір крапель у раціональних режимах — ≤ 50 мкм.

Гіпотеза полягає в тому, що для запобігання агломерації зернистого матеріалу шляхом формування рідинних «містків» розмір крапель має не перевищувати 50 мкм. Надалі це припущення та вибір місця встановлення диспергатора будуть теоретично обґрунтовані.

Тож запропоновано провести розрахунки та експериментальним шляхом визначити:

- Компоновка диспергатора: зони I-III розміщення та висоти чаші, перфорація, лінійна швидкість крайкі, періоди пульсації, тощо; [1]
- Розмір крапель: націлення на ≤ 50 мкм.

Також потребують проведення досліджень інші критерії, як:

- Тепловий режим: температуру поверхні зерна, підбираючи температуру та витрату теплоносія, щоб уникнути перегріву й висушування зародка;
- Гідродинаміка: робочі швидкості газу — у діапазоні стійкого псевдозрідження без виносу насіння; автоколивальна циркуляція для регулярного «розведення» зволжених зерен сухими; [1]
- Властивості оболонки: контролювати пористість, водоемність, міцність драже у сухому та зволоженому станах; ці техніко-технологічні показники визначальні для енергії проростання та польової схожості; [4]
- Метролого-технологічний супровід: карти температури у зоні чаші/в шарі; мікроструктура поперечних шліфів; калібрування продуктивності подачі рідини. [3]

Очікується отримання рівномірної повітропроникної оболонки на зерні пшениці без втрати життєздатності, з мінімальною агломерацією та стабільною кінетикою процесу завдяки розширеній зоні зрошення та контролю над розміром крапель. Запропонована компоновка є масштабованою та придатною для різних типів покриттів і культур.

Використані джерела:

1. Korniyenko Y.M., Haidai S.S., Stepaniuk A.R., Novokhat O.A. Principles of simulation of energy-efficient granulation processes in a fluidized bed
2. Korniyenko B., Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A. Innovative process for granulation of heterogeneous liquid systems in a fluidized bed, 2024
3. Любека А.М. Гранулювання багатокомпонентних рідких систем в псевдозрідженому шарі. Дисертація, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2021
4. Сербій Є.К. Методика обґрунтування кількісного складу композицій для дражування насіння. Праці ТДАТУ, вип. 15, т. 1
5. Particle circulation and coating in a Wurster fluidized bed under different geometries
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023010069>)
6. Taylor, A.G. and Trimmer, M. (2020), DunhamTrimmer International Bio Intelligence, Global chemical and biological seed treatments market, Lakewood Ranch, Florida. URL: <https://dunhamtrimmer.com/>

УДК 66.06

CFD-АНАЛІЗ ВПЛИВУ РАДІУСА ЗАОКРУГЛЕНЬ ВЕРШИН ТРИКУТНОГО СПЕЙСЕРА ДЛЯ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

доц. к.т.н. Гулієнко Сергій, аспірант Ясенчук Віталій

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

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі розглянуто вплив геометрії спейсера на гідродинамічні характеристики каналу спіраль-но-згорнутого мембранного модуля. Особливу увагу приділено трикутній формі поперечного перерізу нитки спейсера та впливу радіуса заокруглення її вершин на величину гідравлічного опору.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕМБРАНИ, ТРИКУТНИЙ СПЕЙСЕР, CFD, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР.

Спейсери є ключовими елементами спіраль-но-згорнутих мембранних модулів, оскільки саме вони визначають гідродинаміку потоку в каналі між мембранами та інтенсивність змішування [1]. Їх основна функція полягає у створенні турбулізації та перешкоджанні утворенню застійних зон, що в свою чергу впливає на продуктивність мембран та їх схильність до забруднення, тому досить важливим завданням є дослідження геометричних параметрів спейсера.

З метою покращення змішування та зниження гідравлічного опору проводять дуже багато досліджень на створення нових геометричних параметрів спейсерів, серед них є спейсери у вигляді коралів, спіралей, змінних перерізів та ін. [2-3].

Однак важливо підкреслити, що багато запропонованих у літературі конфігурацій спейсерів, хоча і демонструють покращені гідродинамічні характеристики, є складними та високовартісними у виготовленні, що в свою чергу, ускладнює їх широке впровадження у промисловість.

Одним із перспективних варіантів геометрії є трикутний спейсер. На відміну від класичної круглої нитки, трикутний переріз здатний зменшувати кількість застійних зон у нижній частині каналу, про що описувалося в роботі[4].

Однак більшість отриманих результатів щодо трикутних спейсерів базуються на ідеалізованій геометрії, тобто без врахування поверхневих дефектів, заокруглень та технологічних обмежень виробництва. У реальності ж форма нитки спейсера майже ніколи не є абсолютно гострою — під час екструзії або 3D-друку кутові вершини згладжуються.

Щоб визначити вплив реальної форми спейсера на гідродинаміку, було проведено чисельне моделювання з варіацією радіуса заокруглення вершин трикутного перерізу від 0 до 0.1 мм.

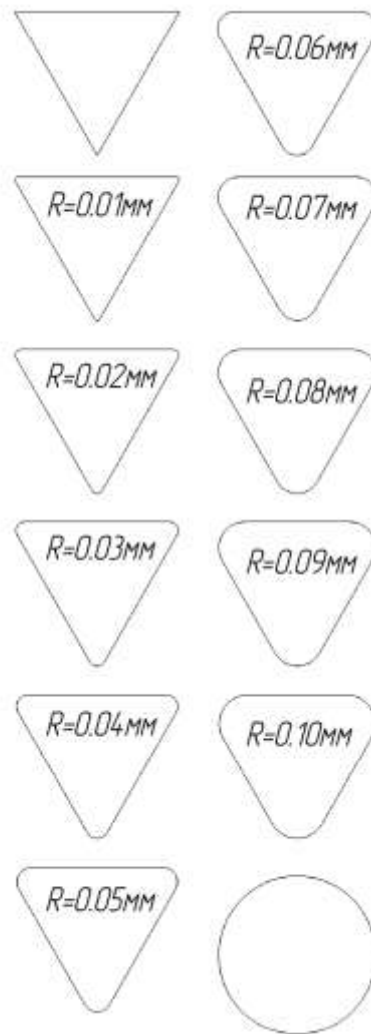


Рисунок 1. Перерізи досліджуваних спейсерів

На графіку представлено зміни гідравлічного опору залежно від величини заокруглення. Як видно заокруглення на спейсері до величини 0,03 мм показало позитивний ефект і зменшення гідравлічного опору, при зростанні ж радіуса трикутний переріз нитки прямує до круглого перерізу в тому ж числі збільшується опір, який прямує до опору круглої нитки.

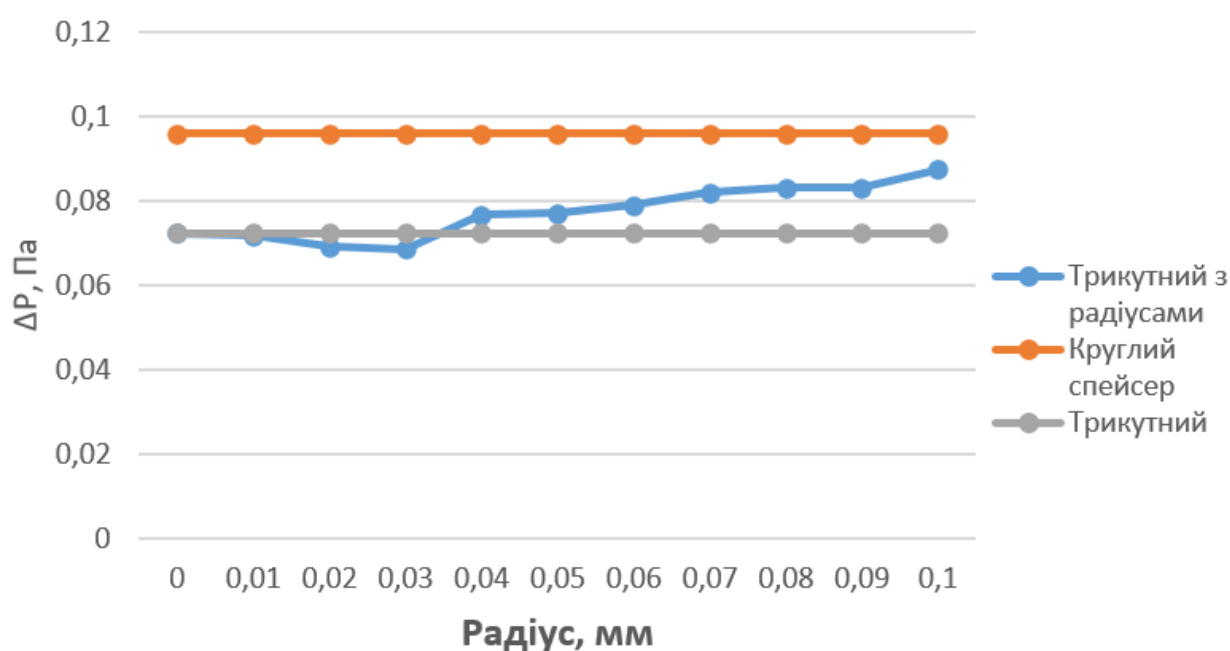


Рисунок 2. Залежність величини гідравлічного опору від радіуса заокруглень вершин трикутного спейсера

ВИСНОВОК: Отож підсумовуючи результати можна сказати, що незначне заокруглення нитки дає позитивний ефект, але при збільшенні заокруглення розмивається різниця між круглим і трикутним спейсером

Перелік літератури

1. Huisman, K. T.; Franco-Clavijo, N.; Vrouwenvelder, J. S.; Blankert, B. Improved quantitative evaluation of the fouling potential in spacer-filled membrane filtration channels through a biofouling index based on the relative pressure drop. *Journal of Membrane Science* 671 (2023), 121400
2. Chong, Y. K.; Liang, Y. Y.; Fimbres Weihs, G. A. Validation and characterisation of mass transfer of 3D-CFD model for twisted feed spacer. *Desalination*, 2023, 554, 116516.
3. Thomas, N.; Swaminathan, J.; Zaragoza, G.; Abu Al-Rub, R. K.; Lienhard, J. H. V.; Arafat, H. A. Comparative assessment of the effects of 3D printed feed spacers on process performance in MD systems. *Desalination*, 2021, 503, 114940.

4. Гулієнко С.; Ясеньчук В.; CFD-аналіз ефективності конструкції спейсера з нитками трикутного перерізу для мембранних модулів. Міжнародна конференція «Водні технології: від традиційних методів до сучасних тенденцій», Київ, 28-30 жовтня 2025 р.

MODERNIZATION OF THE DRUM DRYER OF THE COKE PRODUCTION PLANT

Master's student Mykyta KEKUKH, Ph.D., Associate Professor Andriy STEPANYUK

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

Annotation: *A brief description, advantages and disadvantages of the drum dryer are given. A method for upgrading the drum dryer of a coke production plant is described.*

KEYWORDS: MODERNIZATION, DRUM DRYER, PRODUCTIVITY.

МОДЕРНІЗАЦІЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КОКСУ

магістрант Микита КЕКУХ, к.т.н., доцент Андрій СТЕПАНЮК

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

Анотація: *Наведено коротку характеристику, переваги та недоліки барабанної сушарки. Описано спосіб модернізації барабанної сушарки установки виробництва коксу.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, БАРАБАННА СУШАРКА, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

COKE is a solid, strong porous mass, a product of coking or cracking of natural fuel or its processing products at temperatures of 950–1100 °C without access of air. It is used as a fuel and reducing agent in blast furnace production, as a fuel in foundry production, for sintering ores, rolling of polymetallic waste, as a raw material in electrode production. Depending on the type of raw material, coke is distinguished: coal, pitch (electrode) and petroleum [3].

Coking raw material is pumped by centrifugal pumps in two parallel streams through heat exchangers and furnace coils and from there enters the rectification column onto cascade trays. Contacting with vapors and gases entering the column from chambers with a temperature of 425 °C, the raw material is heated to 400 °C. Condensed high-boiling coking products (recirculate) mixed with the raw material form the raw material of the coke chambers (secondary raw material). From the bottom of the column, the secondary raw material is sent to the furnace pumps. Each of these pumps pumps the raw material through the coils of the tubular furnaces, where it is heated to 510 °C, and then enters the corresponding chambers, which operate in pairs [1].

To obtain coke with a low content of volatile substances and high mechanical strength, additional heat is supplied to the chambers, with heavy gas oil vapors serving as the heat carrier. Heavy gas oil from the lower stripping column is pumped through the furnace coils, where it is heated to 515–520 °C, and through switching valves, after mixing with secondary raw materials, it is sent to the coke chambers [1].

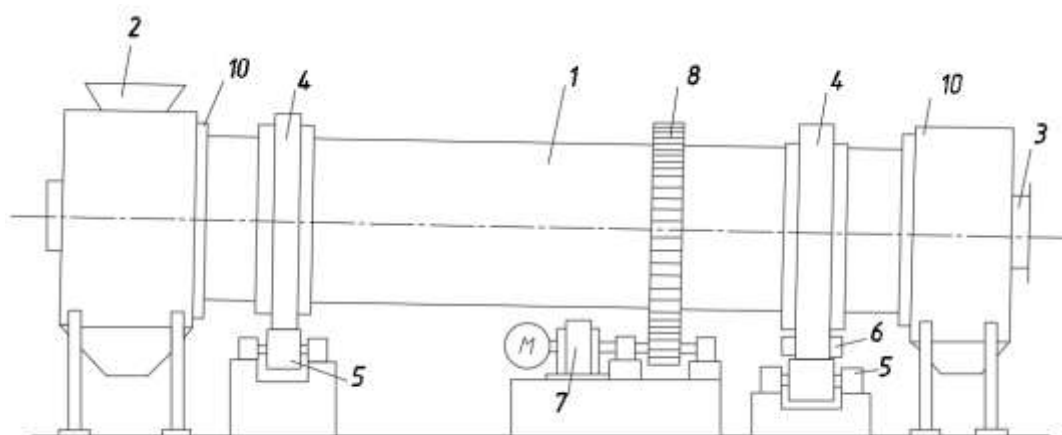
Before unloading the coke, the chambers are first cooled to 400 °C with steam. The steam is directed into the column. After that, the coke is cooled with water. Using special devices, the coke is removed from the coke ovens and sent to a centrifuge to remove moisture from the material for further drying. Then the coke is sent to a drum dryer, where the drying process is completed. Heaters are used to produce hot air. After drying, the dusty air is blown into a cyclone, where it is cleaned of coke dust [1].

The purpose of the work is to modernize the drum dryer of the coke production plant.

Rotating drum apparatuses (Figure 1) consist of a drum 1, the overall dimensions of which are determined by the required size of the working or reaction space. Inside the drum may have a nozzle for better movement and pouring of the material in order to improve heat transfer [2].

The drum is inclined to the horizon at a small angle of $1...5^{\circ}$. The drum rotates using a crown gear 8, which is connected to a gear sitting on the gearbox shaft. To transfer pressure from the masses of all rotating parts of the apparatus, the drum is equipped with bandages 4, which rest on support rollers 5. To prevent axial displacement of the drum, a thrust roller is installed on one of the support stations. The support and thrust rollers are made on sliding and rolling bearings, mounted on a common foundation plate, forming a support and thrust station 6. The thrust station is placed near the gear crown of the drive 7 so that there is no displacement of the gears [2].

At both ends of the drum, chambers are installed, necessary for loading and unloading of the material (pos. 2, 9, 3), as well as for supplying and removing the drying agent. The gap between the rotating drums 10 and the stationary chambers is sealed with labyrinth, gland or lip seals [2].



- 1 – body, 2 – loading head, 3 – unloading chamber, 4 – bandage, 5 – support rollers, 6 – support and thrust station,
7 – drive (motor-gearbox group), 8 – crown gear,
10 – gap between the device body and the loading chamber

Figure 1 – Drum rotary apparatus (dryer)

The advantages of drum dryers include:

- high productivity with stable final moisture content;
- unpretentious appearance;

- low energy consumption.

The disadvantages are:

- large dimensions;
- noise of the device;
- high capital costs.

The essence of the modernization is to gradually increase the length of the blades from the beginning of the drum to the end. This will increase the drying efficiency, as the coke becomes more loose during the drying process, and a gradual increase in the length of the blades will increase the area of contact of the coke with the coolant.

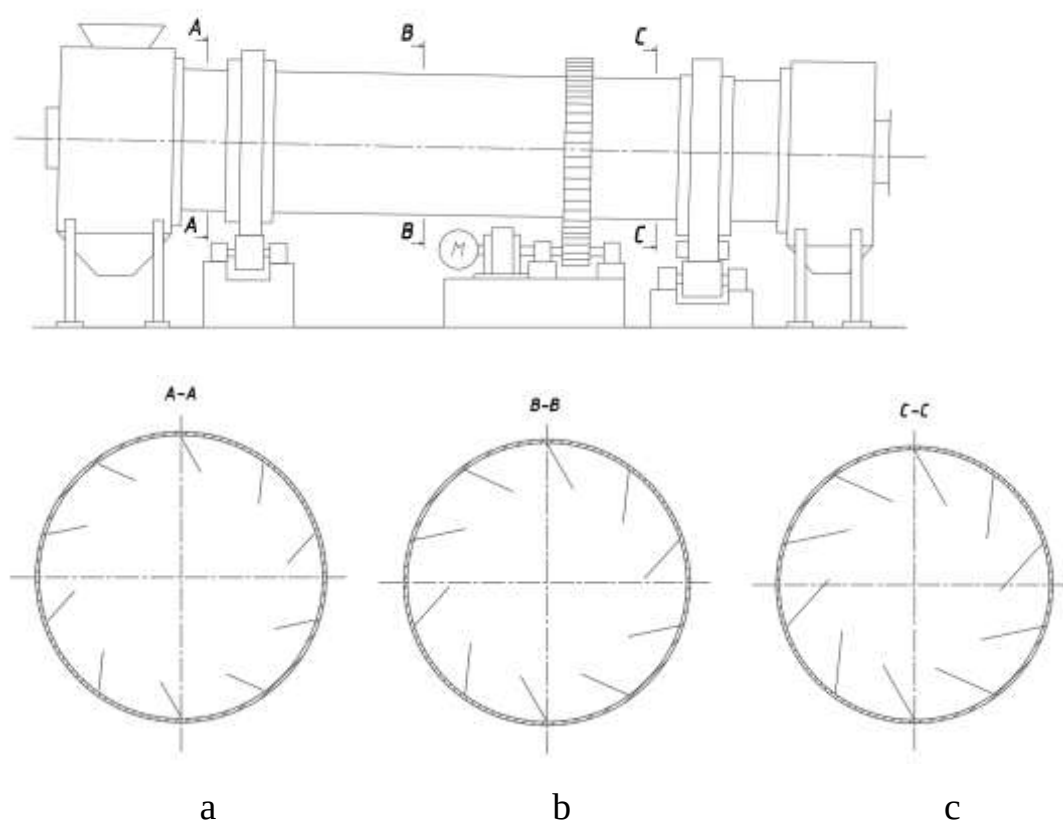


Figure 2 – Schematic arrangement of drum dryer blade zones.

a – initial zone, b – main drying zone, c – final zone.

List of links:

1. Kekukh M. O., Stepanyuk A. R. Modernization of coke production plant with the development of a drum dryer and cyclone. Proceedings of the XXVII

International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Resource and Energy-Saving Technologies and Equipment" (November 28, 2024, Kyiv) / Compiled by Ya. M. Kornienko – K.: "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2024. – P. 214 – 219.

2. Computer design of rotating elements of chemical technology equipment: course of lectures [Electronic resource]: a teaching aid for master's degree applicants in the educational program "Engineering and computer-integrated technologies for the design of innovative industry equipment" speciality 133 Industrial mechanical engineering / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; compiled by O. V. Gusarova. – 2nd ed., revised and supplemented – Electronic text data (1 file: 8.78 MB). – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024. – 288 p.

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/70834>.

3. Koks / V. S. Biletsky, V. V. Oshovsky // Encyclopedia of Modern Ukraine [Electronic resource] / Editors: I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovsky, M. G. Zheleznyak [and others]; NAS of Ukraine, National Scientific Research Center. – Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of NAS of Ukraine, 2013. – Access mode:<https://esu.com.ua/article-8077>

УДК 66.047: 631.563

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ НА ГІДРОДИНАМІКУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ ПРИ ДРАЖУВАННІ 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. *Обґрунтовано переваги застосування ГРП щілинного типу у апараті з псевдозрідженим шаром при дражуванні насіння пшениці. Підтверджено робочу гіпотезу інтенсифікації процесу тепло- та масообміну при грануляції біологічного об'єкту за рахунок збільшення поверхні контакту фаз.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРАЖУВАННЯ, ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, НЕОДНОРІДНЕ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ.

THE INFLUENCE OF THE GAS DISTRIBUTION DEVICE CONSTRUCTION ON THE HYDRODYNAMICS OF THE FLUIDIZED BED FOR SEED PELLETTIZING

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. *The advantages of using a slit-type gas distribution device in a fluidized bed apparatus for pelletizing wheat seeds have been proposed. The work hypothesis of intensifying the heat and mass transfer process during the granulation of a biological object by increasing the phase contact surface has been confirmed.*

KEY WORDS: PELLETTIZING, GAS DISTRIBUTION DEVICE, INHOMOGENEOUS FLUIDIZATION.

Дражування насіння – технологічний процес циклічного нанесення рідкої фази (розчинника, поживних речовин, стимуляторів росту) на поверхню зерна з наступним випаровуванням розчинника (води). В результаті на поверхні

насіння формується композитна тверда фаза з мікрошаровою структурою. Для цього необхідно забезпечити ефективну циркуляцію зернистого матеріалу між зонами зрошення та сушіння, уникаючи його механічного пошкодження. Оскільки насіння є біологічним об'єктом то при внесенні в ґрунт повинно активним. Тому процес зневоднення може відбуватися тільки при температурі не вище 40⁰С. При цьому необхідно створити умови щоб теплота до поверхні зволоженого зерна максимально надходила від газового теплоносія.

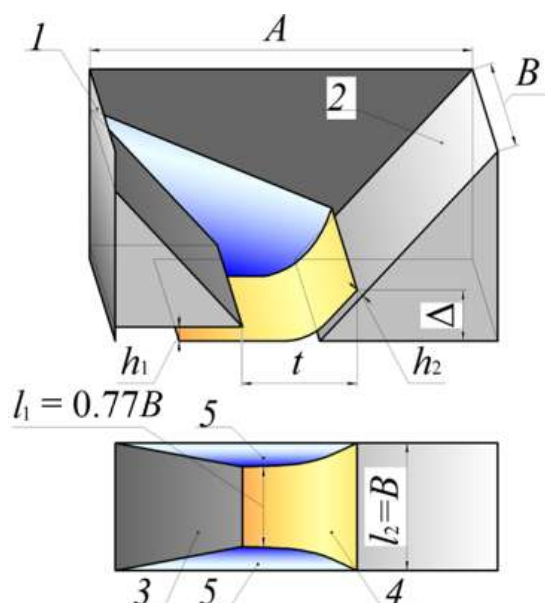
Враховуючи, що коефіцієнт тепловіддачі α від газового теплоносія має обмежене значення, то збільшення кількості підведеної теплоти можна досягти шляхом збільшенням загальної поверхні контакту фаз F , тобто добуток αF прямує до $\max$. Оскільки всередину псевдозрідженого шару безперервно диспергується рідка фаза, то для забезпечення сталої кінетики процесу з пошаровим механізмом гранулювання необхідно активне оновлення робочої поверхні фаз в зонах зрошення та сушіння при високій рушійній силі по масообміну. Це дозволить збільшити коефіцієнт використання підведеної теплоти з нагрітим теплоносієм.

Всім цим вимогам відповідає апарат із псевдозрідженим шаром, в якому суцільне газове середовище використовується як зріджуючий агент, теплоносій і фаза, яка приймає вологу. Відомо, що коефіцієнт використання підведеної теплоти такого апарату може досягати 50% і більше, а в разі застосування неоднорідного псевдозрідження коефіцієнти перенесення теплоти і маси збільшуються в 1.5–2 рази [1-3]. Висока ефективність процесів перенесення в апараті з псевдозрідженим шаром досягається завдяки застосування неоднорідного струменево-пульсаційного гідродинамічного режиму.

Газорозподільна решітка (ГРП) – ключовий елемент такого апарату з псевдозрідженим шаром, що забезпечує рівномірний розподіл повітря по всьому перерізу та стійкий режим псевдозрідження. Найпоширеніші типи

газорозподільних решіток – перфоровані плоскі пластини і металеві сітки – мають суттєві недоліки. Перфоровані пластини з великою кількістю отворів забезпечують відносно рівномірний потік повітря, але супроводжуються значним гідравлічним опором і великим падінням тиску [4]. Сітчасті конструкції можуть призводити до утворення «мертвих зон», нестійких бульбашок та нерівномірності тепло- і масообміну.

Оптимальний вибір для процесу дражування насіння – ГРП щілинного типу (рисунок 1а), для якої було проведено розрахунок конструкційних параметрів в залежності від параметрів типу зерна (а саме висота $h_1 = 0,01$ м та ширина $l_1 = 0,085$ м для щілини 1 і висота $h_2 = 0,005$ м та ширина $l_2 = 0,11$ м для щілини 2).



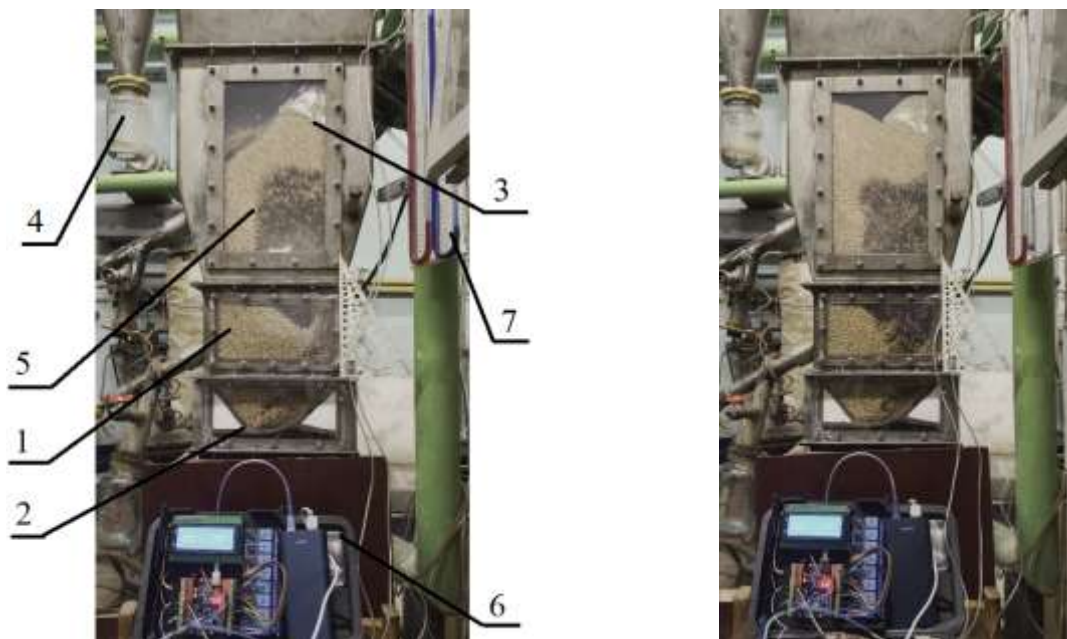
1 – камера гранулятора; 2 – правий колосник; 3 – лівий колосник;

4 – пластина; 5 – звужуюча вставка.

Рисунок 1 – Конструкція ГРП щілинного типу

Створено дослідну установку (рисунок 2) для перевірки робочої гіпотези реалізації неоднорідного псевдозрідження для зернистого матеріалу різної геометричної форми, зокрема, для дослідження впливу форми частинок на

особливості гідродинаміки в апараті з псевдозрідженим шаром та на вибір конструктивних параметрів ГРП. Установка складається з камери гранулятора 1, що має форму паралелепіпеда, спорядженого газорозподільним пристроєм 2. Для перенесення матеріалу в надшаровому просторі, камера гранулятора 1 у верхній частині споряджена направляючою вставкою 3. Повітря через ГРП вводиться до апарату асиметрично, тим самим забезпечуючи направлений рух теплоносія та зернистого матеріалу з активним його перемішуванням. Для очистки відпрацьованого повітря використовується циклон 4. За допомогою відеокамери здійснюється відеофіксація стану шару в апараті. Для цього, у якості передньої стінки апарата, встановлено прозору пластину 5. Вимірювання тиску в шарі та діафрагмі відбувалося за допомогою контролера Arduino 6 та трубчастого U-подібного дифманометра 7.



а) $H_0 = 0,47$ м; $K_w = 1,59$;

б) $H_0 = 0,52$ м; $K_w = 1,65$;

$w_g = 1,57$ м/с; $w_s = 36,95$ м/с; $\gamma = 18,7$ $w_g = 1,63$ м/с; $w_s = 38,3$ м/с; $\gamma = 19,4$

1 – камера гранулятора; 2 – ГРП; 3 – направляюча вставка; 4 – циклон; 5 – прозора пластина; 6 – контролер Arduino; 7 – дифманометр.

Рисунок 2 – Експериментальна установка для дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару

В даний час проводяться дослідження гідродинаміки псевдозріженого шару в апараті із застосуванням ГРП щілинного типу з коефіцієнтом живого перерізу $\phi = 4,24 \%$. У якості зернистого шару використовується пшениця з еквівалентним діаметром $d_e = 3.621$ мм (рисунок 3), густиною $\rho_{\text{п}} = 1270$ кг/м³, насипною щільністю $\rho_{\text{н}} = 762$ кг/м³, порозністю $\varepsilon = 0,4$.



Рисунок 3 – Дослідний зразок зерен пшениці після проведення дослідів

За результатами досліджень обґрунтовано конструкцію ГРП, яка забезпечує стійкий режим псевдозрідження з інтенсивним перемішуванням зерен пшениці і практично відсутніми «мертвими зонами». Отже, підтвердилася робоча гіпотеза інтенсифікації процесу масообміну із підвищенням інтенсивності оновлення поверхні міжфазового контакту.

References:

1. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив. Монографія/ Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – С. 210.
2. Korniyenko B. Conditions of Non-uniform Fluidization in an Auto-oscillating Mode / Bogdan Korniyenko, Yaroslav Kornienko, Serhii Haidai, Andrii Liubeka, and Serhii Hulienko // Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer. – 2022. – Vol.

463. – P. 14-27. e-ISSN: 2367-3389; p-ISSN: 2367-3370 DOI: 10.1007/978-3-031-03877-8_2.

3. Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Kornienko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 144-154.

4. Computational Analysis of the Hydrodynamic Behavior for Different Air Distributor Designs of Fluidized Bed Gasifier / N. Raza et al. Frontiers in Energy Research. 2021. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.692066>.

УДК 621.928.9

WATER VAPOR AND PARTICULATE MATTER CAPTURE FROM THE GAS STREAM IN THE PACKED BED SCRUBBER

postgraduate Ivan Tisnyi, Ph.D., associate professor Andriy Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Annotation: *The basic design and working principle of new packed bed scrubber are described, as well as hypothesis of the innovative proposal.*

KEY WORDS: SCRUBBER, PACKING, PRESSURE DROP, VAPOUR, CAPTURE.

ВЛОВЛЮВАННЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ ТА ТВЕРДИХ ВКЛЮЧЕНЬ З ГАЗОВОГО ПОТОКУ В НАСАДКОВОМУ СКРУБЕРІ

аспірант Тісний І.С., к.т.н.. доцент Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Описано базову конструкцію запропонованого нового насадкового скрубера та суть гіпотези інноваційної пропозиції.*

Ключові слова: СКРУБЕР, НАСАДКА, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ПАРА, КОНДЕНСАЦІЯ.

Based on analysis of modern research directions for developing cost-effective and efficient wet scrubbers, three main directions for enhancing scrubber performance can be highlighted: use of CFD modeling for optimizing hydrodynamics and mass transfer, application of 3D printing technologies for developing innovative

packing structures, and implementation of advanced structured packings with improved properties [1].

A schematic diagram of new wet packed bed scrubber structure based on the analysis is provided (Figure 1). Main area for such scrubbers is fertilizer production (particularly ammonium sulfate and humates), where capturing water-soluble residues of these compounds from gas streams is critically important.

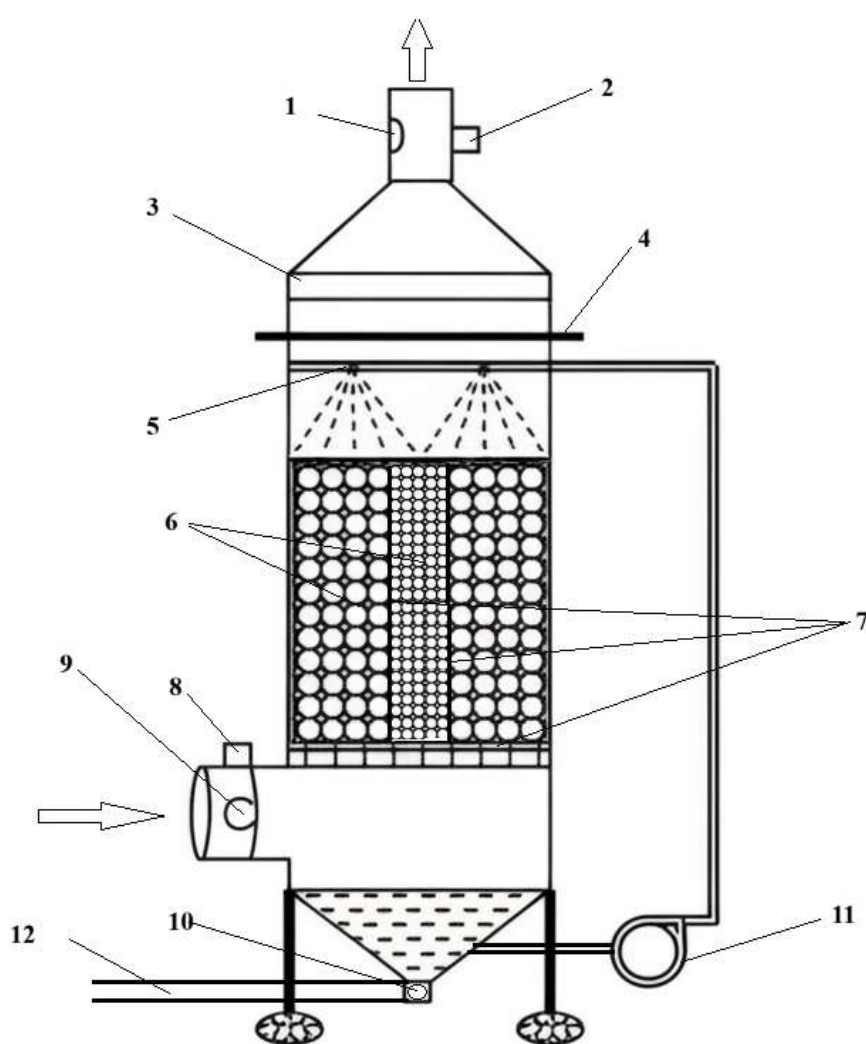


Figure 1. Proposed Packed Bed Scrubber

The main elements of the proposed nozzle scrubber are:

1, 9 – pollution measuring ports

2, 8 – pressure measuring ports

3 – mist eliminator

4 – flang

5 – liquid distributor

6 – unstructured packing with different diameter

7 – gas distributor and support screen

10 – valve and port for target substance concentration measurement

11 – pump for liquid re-usage

12 – transfer line to the granulator or mixer

Usage of unstructured (random) spherical packing of two different diameters (larger diameter along the sides of the filtration column and smaller diameter in the center) partially implements the concept of structured packing, but it is more cost-effective. Current approach increases hydraulic resistance at the column center which resulted in more uniform distribution of the gas flow across the plane of the column's cross section, thereby reducing the height of the 'dry cone' and expanding the phase contact area [2]. A cylindrical mesh (screen) inside the packing chamber separates packings of different diameters and facilitates easy unloading, washing, and loading of random packing when needed.

Need to admit, that together with contaminated air, water vapor also enters the scrubber chamber. This vapor will be condensed and used for additional irrigation of the packing layer.

Waste solution can be reused in the granulator to produce the next batch of fertilizer or as a liquid for dissolving raw materials.

In conclusion, proposed design is cost efficient and environmentally friendly and is also adapted to the specifics of the Ukrainian industry. It is expected to reduce water consumption, enhance the efficiency of fertilizer residue capture with their subsequent reuse, and facilitate the washing of the packing layer.

REFERENCES:

3. Tisnyi, I. S., & Stepaniuk, A.R. ANALYSIS OF RESEARCH DIRECTIONS FOR WET EXHAUST GAS PURIFICATION SYSTEMS. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University*. Kremenchuk: KRNU, 2025, 3(152), 238–244. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.3.26> [in Ukrainian].
4. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 2. Практикум : навч. посіб. / Я. М. Корнієнко, А. Р. Степанюк, С. В. Гулієнко, С. С. Гайдай, О. О. Семінський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – с. 339 - 387

UDC 66.047.541

DEHYDRATION OF CRYSTALLINE BISCHOFITE UNDER HIGH-TEMPERATURE DRYING

PhD student Filipov V.V., c.t.s. associate professor Novokhat O.A.

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The process of dehydration of crystalline bischofite ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) during high-temperature drying is examined. The main temperature stages of the sequential removal of crystalline water, the formation of intermediate hydrates ($MgCl_2 \cdot 4H_2O$, $MgCl_2 \cdot 2H_2O$), and anhydrous $MgCl_2$ are presented. Experimental and theoretical data on the dehydration mechanism and the influence of high temperature on the stability of the crystalline structure are summarized.*

KEYWORDS: BISCHOFITE, MAGNESIUM CHLORIDE, DRYING DEHYDRATION

Дегідратація кристалічного бішофіту за високотемпературного сушіння

аспірант Філіпов В.В., к.т.н., доц. Новохат О.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто процес дегідратації кристалічного бішофіту ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) під час високотемпературного сушіння. Наведено основні температурні етапи послідовного видалення кристалічної води, утворення проміжних гідратів ($MgCl_2 \cdot 4H_2O$, $MgCl_2 \cdot 2H_2O$) та безводного $MgCl_2$. Узагальнено експериментальні й теоретичні дані щодо механізму дегідратації та впливу високої температури на стабільність кристалічної структури.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІШОФІТ, ХЛОРИД МАГНІЮ, СУШІННЯ, ДЕГІДРАТАЦІЯ

Bischofite ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) is a natural mineral and an important raw material for obtaining anhydrous magnesium chloride, which is used in the production of metallic magnesium and magnesium alloys.

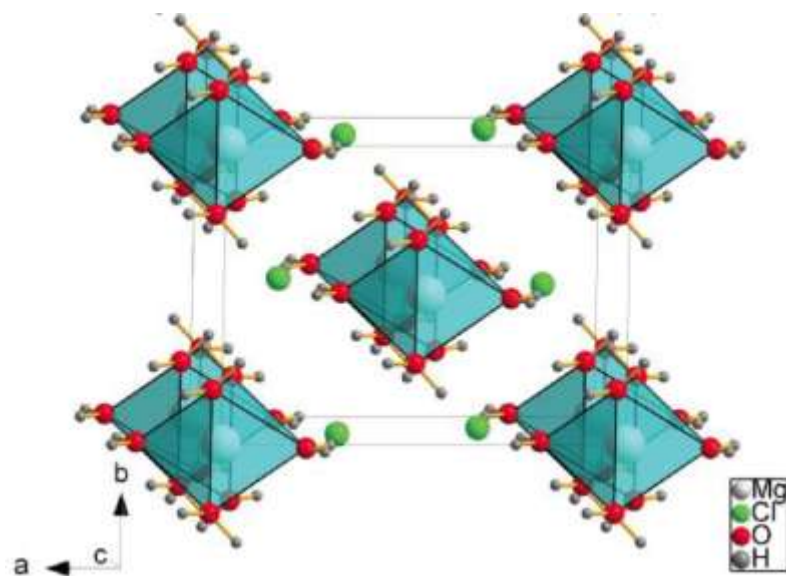


Fig.1 The crystal packing of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in a parallel projection approximately down the crystallographic c axis [1].

The principal difficulty in drying crystalline bischofite arises from its pronounced susceptibility to dehydration at elevated temperatures, during which water molecules are progressively removed from the crystal lattice of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, initiating the transformation of the hexahydrate into the tetrahydrate ($\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) [1,2]. Further heating leads to the disruption of the crystalline structure, accompanied by the formation of oxychlorides (MgOHCl) and MgO [1,3].

The dehydration process of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ occurs stepwise with increasing temperature. According to thermogravimetric studies [1], four successive stages can be distinguished:

1. 25–125 °C — removal of free (physically bound) water, formation of $\text{MgCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;
2. 125–175 °C — transition $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, accompanied by a mass loss of approximately 23.8%;
3. 175–205 °C — formation of the dihydrate ($\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), during which a total of five water molecules are removed;
4. 205–260 °C — final removal of bound water and partial hydrolysis, which may lead to the formation of $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$ and MgO in the absence of a protective atmosphere.

Thus, the dehydration of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ is completed at temperatures above 250–300 °C, when all six water molecules are lost from the crystal lattice [1].

Under industrial conditions, dehydration is carried out in fluidized-bed dryers with controlled heating. According to the studies of Adham K. et al. [3], two key stages are distinguished:

1. At 114–120 °C — formation of the tetrahydrate $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$;
2. At 175–180 °C — transition to the dihydrate $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Further heating above 320 °C leads to complete dehydration and the formation of anhydrous MgCl_2 . However, at high temperatures (>300 °C), hydrolysis may occur with the formation of MgOHCl . Therefore, in industrial installations, hot HCl gas or an inert atmosphere is often used to shift the reaction equilibrium toward the preservation of MgCl_2 [3].

The addition of KCl and NH_4Cl salts helps stabilize MgCl_2 during high-temperature dehydration. As shown in the study by Zhang Z. et al. [2], in the $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – KCl – NH_4Cl system, a complex $\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ forms at temperatures up to 300 °C, which suppresses hydrolysis. At 400–700 °C, a stable compound KMgCl_3 is produced, preventing the formation of MgO even at 700 °C.

Thus, high-temperature drying in the presence of KCl and NH_4Cl ensures almost complete dehydration at 720 °C without magnesium loss and with an MgO content of only 0.02% [2].

During the drying of crystalline bischofite ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), it is extremely important to maintain an optimal temperature regime that ensures the removal of excess moisture without destroying the crystalline structure of the hexahydrate.

When the temperature rises above 110–120 °C, a gradual loss of crystalline water begins (formation of $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and further heating above 180–200 °C leads to partial dehydration and hydrolysis of MgCl_2 with the formation of MgOHCl or MgO .

Therefore, to obtain high-quality, stable, and non-dehydrated bischofite, it is necessary to maintain the drying temperature below the threshold of thermal dehydration, thereby preventing the transition to lower hydrates.

References:

1. Liu X., Cui X. Research Progress in Dehydration Technology of Bischofite for Preparing Anhydrous Magnesium Chloride. Proceedings of ICCAHE 2016. (DOI: [10.2991/iccahe-16.2016.45](https://doi.org/10.2991/iccahe-16.2016.45))
2. Zhang Z, Lu X, Wang T, Yan Y, Pan F, The Dehydration of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ –KCl– NH_4Cl System. Journal of Salt and Chemical Industry, 2014. (DOI: DOI:[10.1016/j.jaap.2014.09.009](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.09.009))
3. [Adham K., Lee C., O'Keefe K. Magnesium Chloride Dehydration Using the Fluidized Bed Technology. COM 2010 - Conference of Metallurgists At: Vancouver, Canada](#)

УДК 66.06

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МАСОВІДДАЧІ НА ВЕЛИЧИНУ ОПОРУ ШАРУ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ПРИ ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ

Гулієнко С.В., Мишковець С.М.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто питання концентраційної поляризації та масообміну в баромембранних процесах, та оцінено вплив параметрів масообміну на величину опору шару концентраційної поляризації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕМБРАНА, МАСООБМІН, КОНЦЕНТРАЦІЙНА ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ОПІР

Abstract: The issues of concentration polarization and mass transfer in pressure driven membrane processes were considered, and the influence of the mass transfer parameters on the value of the concentration polarization layer resistance was evaluated.

KEY WORDS: MEMBRANE, MASS TRANSFER, CONCENTRATION POLARIZATION, RESISTANCE

Баромембранні процеси широко використовуються в хімічній, харчовій, фармацевтичній промисловості, а також в комунальному господарстві, причому значна частка застосування цих процесів припадає на системи водопідготовки та водоочищення. Послідовне зростання використання цих процесів пов'язане з рядом технологічних та економічних переваг, таких як висока ефективність розділення та відносно низькі витрати енергії. Однак, існують експлуатаційні проблеми, які обмежують ефективність та розширення можливостей мембранних технологій. В першу чергу, робота баромембранних

процесів обмежується явищами концентраційної поляризації та забруднення поверхні мембран [1].

В попередніх роботах [2-3] було здійснено спробу виміряти опір шару концентраційної поляризації та встановити вплив на його величину робочих параметрів. Отримані результати показують, що гідродинамічні параметри та склад розділюваного розчину має вплив на величину R_{cp} . Однак в цих дослідженнях недостатня увага приділялася питанням масообміну, тому в цій роботі розглянуто оцінка коефіцієнтів масовіддачі та вплив їх значень на величину опору шару концентраційної поляризації.

Для оцінки значень коефіцієнтів масовіддачі використовувалася методика, запропонована Матсуурою та Ізмаїлом [4], яка ґрунтується на моделі розчинення дифузії, яка описує процес зворотного осмосу, та плівковій моделі концентраційної поляризації. Також використовувалися експериментально отримані значення потоків через мембрану для розчинів хлориду натрію.

За результатами розрахунків та експериментів отримано залежність опору шару концентраційної поляризації від величини коефіцієнта масовіддачі (рисунок 1)

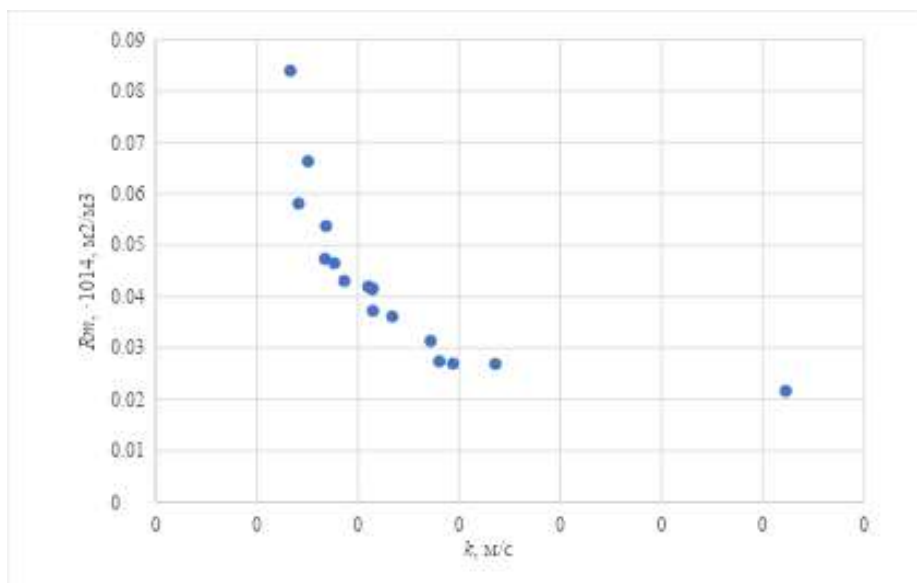


Рисунок 1 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від коефіцієнта масовіддачі

Спостерігається зменшення величини опору шару концентраційної поляризації зі збільшенням інтенсивності масообміну (збільшення коефіцієнта масовіддачі). Такі результати дозволяють припустити, що існує залежність між цими параметрами, яку можна буде встановити за результатами більшої кількості експериментів, при обробці яких буде використана методика, описана в роботі [4]. Також доцільно провести аналогічне дослідження для різних складів розділюваного розчину, як це робилося в роботі [2].

Окремо варто відзначити, що отримані результати можна трактувати як такі, що добре узгоджуються з такими поширеними моделями концентраційної поляризації як плівкова теорія та модель послідовних опорів, які описані в роботі [1].

Перелік посилань:

1. Shirazi, S., Lin, C.-J., Chen, D. (2010). Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes – A critical review. *Desalination*, Vol. 250(1), pp. 236–248, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.056>.
2. Hulienko S. V., Protsiuk O. O., Gatilov K. O., Kaminskyi V. S. (2019). The estimation of feed solution composition influence on concentration polarization layer resistance during reverse osmosis. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 6(2), pp. F24-F29, doi: [https://doi.org/10.21272/jes.2019.6\(2\).f4](https://doi.org/10.21272/jes.2019.6(2).f4).
3. Hulienko, S., Leshchenko, O. (2019). Influence of operating pressure on concentration polarization layer resistance in reverse osmosis. *Ukrainian Food Journal*, Vol. 8(1), pp. 119–132, doi: <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-1-13>
4. Ismail A. F., Matsuura T. (2022). *Membrane separation processes. Theories, Problems, and Solutions*. Elsevier. Amsterdam.

УДК 536.242: УДК 621.643: УДК 620.175

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПРИ МОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТУВАННІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

старший викладач, к.т.н., с.н.с. Коник А.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація: У світі активно розвивається напрямок транспортування теплової енергії від джерел зеленої енергетики до віддалених споживачів за допомогою мобільних теплових акумуляторів. Такі теплові акумулятори працюють у діапазоні температур до 200 °C і акумуляційним середовищем є теплоакumuлюючі речовини. В даній статті представлено матеріали чисельних та експериментальних досліджень з визначення можливих теплових втрат при роботі мобільного теплового акумулятора МТА-0,5МВт в оточуюче середовище. Необхідність досліджень зумовлена важливістю розуміння аспекту впливу ізоляційних заходів на процес акумуляції в процесі транспортування теплової енергії у зимовий період.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛОВІ ВТРАТИ, МОБІЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР, ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧА РІДИНА.

RESEARCH OF HEAT LOSSES TO THE ENVIRONMENT DURING MOBILE TRANSPORTATION OF HEAT ENERGY

Senior Lecturer, Ph.D., S.N.S. Konyk A.V.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Abstract: The world is actively developing the direction of transporting thermal energy from green energy sources to remote consumers using mobile thermal

energy storage. Such thermal accumulators operate in the temperature range up to 200 °C and the accumulation medium is heat-accumulating substances. This article presents materials of numerical and experimental studies to determine possible heat losses during the operation of the mobile thermal energy storage MTA-0.5MW into the surrounding environment. The need for research is due to the importance of understanding the aspect of the influence of insulation measures on the accumulation in the process of transporting thermal energy in winter.

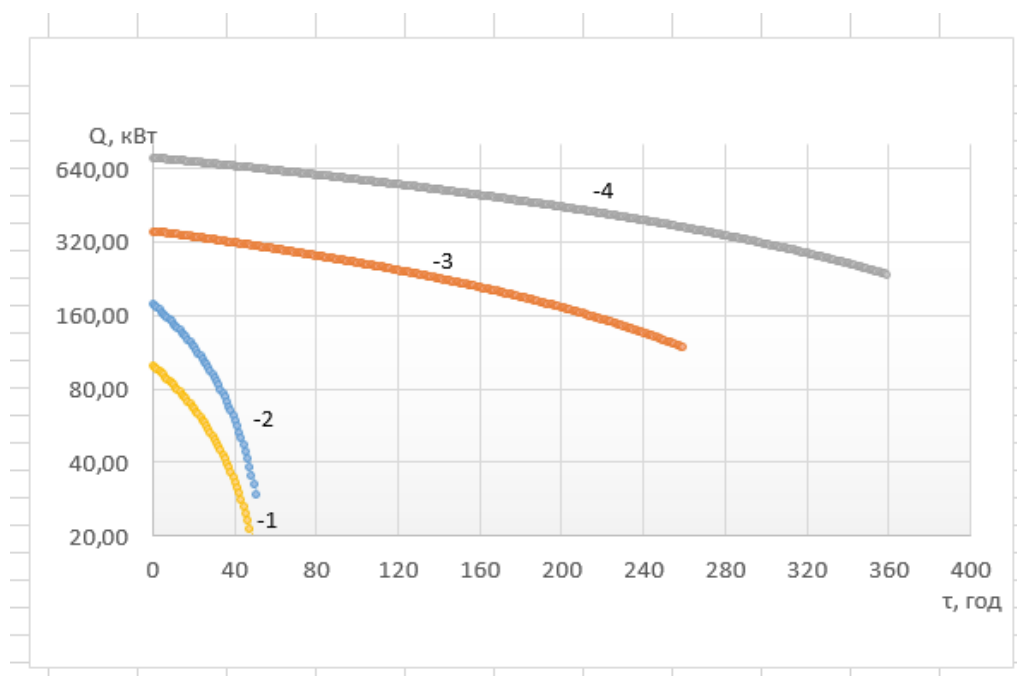
KEYWORDS: HEAT LOSSES, MOBILE THERMAL ENERGY STORAGE, HEAT-ACCUMULATING LIQUID.

Мета досліджень – дослідити теплові втрати в оточуюче середовище при транспортуванні теплової енергії з урахуванням степені акумуляції при застосуванні теплоакumuлюючої рідини у порівнянні з водою.

На сьогоднішній день у світі активно розвиваються технології, що дозволяють акумулювати теплову енергію одночасно транспортуючи її до віддалених споживачів. Одним з перспективних і широко досліджуваних способів транспортування теплової енергії є безтрубний спосіб за допомогою мобільних теплових акумуляторів [1, 2]. Робочим «тілом» при такому способі акумуляції і транспортуванні, як правило, є теплоакumuлюючі речовини [3-5], що спеціально підбираються або створюються для певного діапазону температур [6,7].

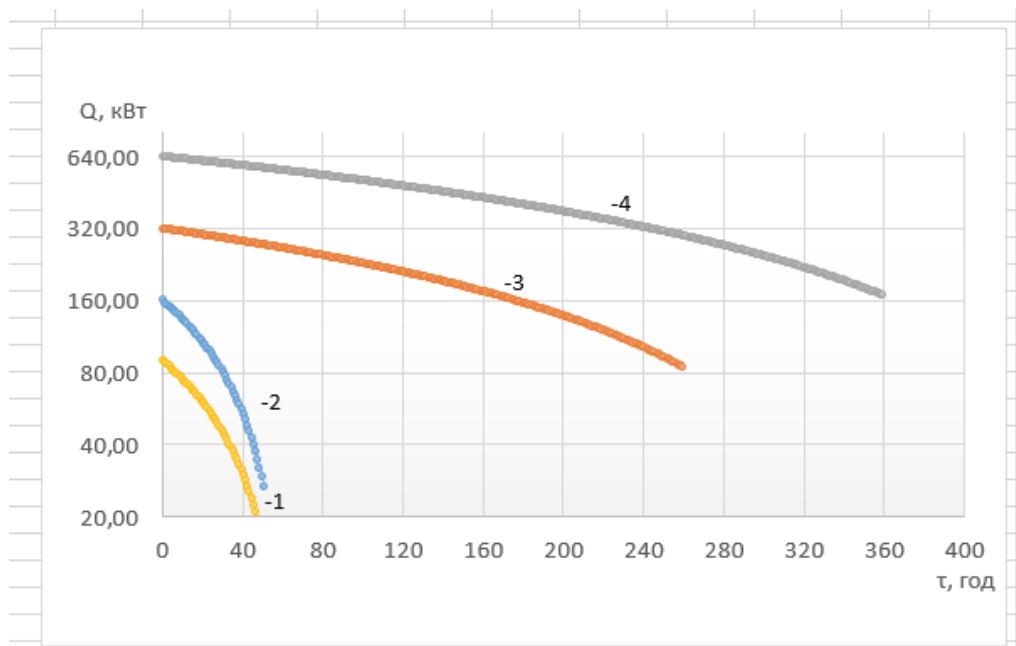
Важливим аспектом при транспортуванні є втрати теплової енергії в оточуюче середовище, що є одним з критеріїв ефективності застосування певної конструкції мобільного теплового акумулятора. Оцінимо можливість теплових втрат при транспортуванні теплової енергії за допомогою дослідного зразка мобільного теплового акумулятора МТА-0,5МВт у зимовий період. Проведемо розрахункові і експериментальні дослідження для визначення можливих величин втрат.

Проведено розрахунок теплових втрат МТА-0,5МВт через корпус з урахуванням реального робочого діапазону температур всередині теплових акумуляторів ємнісного типу в межах від 30 до 90 °С. В першому випадку розрахунок проводили з урахуванням, що у теплоакumuлюючих ємностях розташована вода, рис. 1. Другий розрахунок враховував застосування створеної теплоакumuлюючої рідини [8], рис.2. В результаті було встановлено, що в цьому випадку значення втрат зменшуються, що підтверджується експериментальними даними, рис.3 і 4. Розрахунки проводились з використанням алгоритму прописаного у програмі Excel.



1 – 1,4м³; 2 – 2,5 м³; 3 – 5м³; 4 – 10м³.

Рисунок 1 – Розрахункова залежність теплових втрат МТА-0,5МВт від об'єму ємності теплоакumuлюючої рідини – води



1 – 1,4м³; 2 – 2,5 м³; 3 – 5м³; 4 – 10м³

Рисунок 2 – Розрахункова залежність теплових втрат МТА-0,5МВт від об'єму ємності теплоакуючої рідини – ТАМ

З метою запобігання можливих теплових втрат в конструкції дослідного зразка МТА-0,5МВт передбачено шар ізоляції в секції акумуляції, яку заповнили заливним пінополіуретаном Elastopor Н 1701/9 щільністю 10кг/м³ марки Elastospray. Elastopor Н 1701/9 призначено для термоізоляції великих об'ємів. Додатково в секції акумуляції у місцях встановлення технологічних ролетів вмонтовано панелі ДСП та шар відбиваючого утеплювача.

Ефективність проведених заходів було перевірено експериментальним шляхом, а саме проведено дослідження з візуалізацією зображення за допомогою системи моніторингу ОКО-PRO-X, тепловізору Ti-160 та пірометру СЕМ DT-8867Н, у нічний час при температурі оточуючого середовища «-1,0 °С».

На рис. 3 наведено скріншот екрану ПК системи моніторингу ОКО-PRO-X встановленого у дослідному зразку мобільного теплового акумулятора МТА-0,5МВт у режимі, що імітує транспортування мобільного теплового акумулятора на велику відстань.

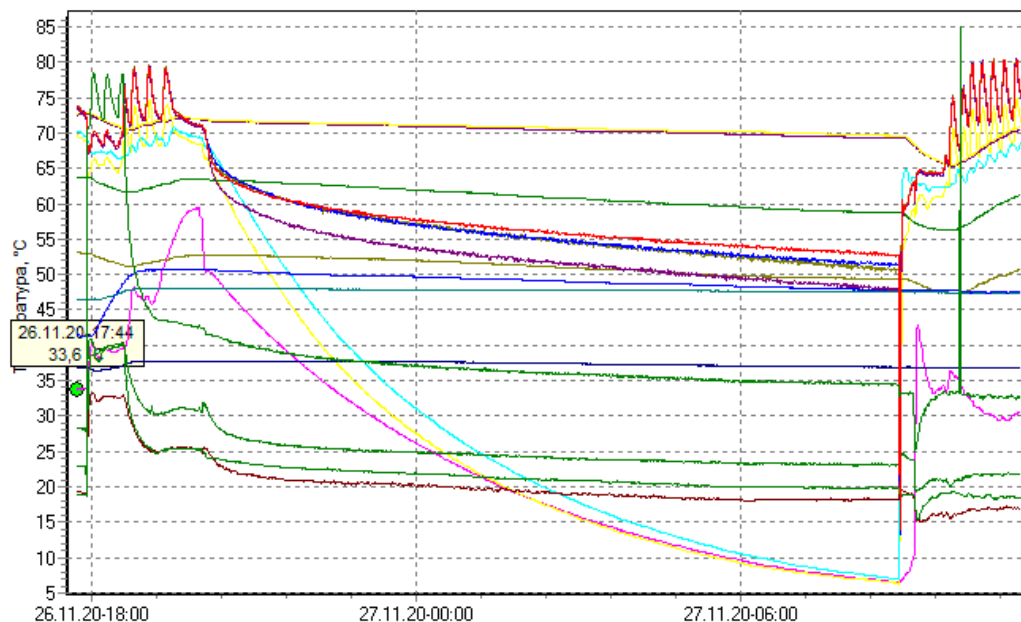


Рисунок 3 – Дослідження тепловтрат при транспортуванні мобільного теплового акумулятора МТА-0,5МВт

Початкова температура акумулюючої рідини в теплових акумуляторах ємнісного типу близько 72 °С. Через 13 годин імітації транспортування МТА-0,5МВт температура в ємностях зменшилася на 1,0 °С. Що свідчить про достатній рівень ізоляційного матеріалу в секції акумуляції і адекватність роботи МТА-0,5МВт.

Експериментальні дослідження теплових втрат з застосуванням тепловізору Ti-160 та пірометра СЕМ DT-8867Н для візуалізації результатів випробувань, представлено на рис. 4. Як видно з ілюстрації присутні теплові втрати у верхній частині корпусу секції акумуляції та в секції де встановлено індивідуальний тепловий пункт. Необхідно врахувати ці дефекти і додатково утеплити конструкцію та трубопроводи індивідуального теплового пункту.



Рисунок 4. – Тепловізійна зйомка конструкції мобільного теплового акумулятора контейнерного типу МТА-0,5МВт

Червоні зон на рис. 4 є в місцях акумуляційної секції, де очевидно є порожнини не заповнені пінополіуретаном та в секції індивідуального теплового пункту вирізняється трубопровід з гарячим теплоносієм. Для усунення вказаних недоліків необхідно взяти додаткових заходів для ізоляції трубопроводу та заповнення наявних порожнин.

Перелік посилань

1. Li H., Wang W., Yan J., Dahlquist E. (2013). Economic assessment of the mobilized thermal energy storage (M-TES) system for distributed heat supply. *Applied Energy*, 104, 178–186.

2. Deckert M., Scholz R., Binder S. (2014). Economic efficiency of mobile latent heat storages. *Energy Procedia*, 46, 171-177.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.17>
3. Phase Change Materials: Thermal Management Solutions
<https://www.pcmproducts.net/>
4. Baccega E., Bottarelli M., Gallero F.J.G., Maestre I.R., Pei G., Su Y. (2023). Improving thermal performance of a ventilated tiled roof by using phase change materials. *International Journal of Low Carbon Technologies*,
<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad047>
5. Huang, L., Petermann, M. and Doetsch, C. (2009). Evaluation of paraffin/water emulsion as a phase change slurry for cooling applications, *Energy* 34, 1145–1155.
6. Demchenko V.G., Konyk A.V. (2020) Research of heat accumulation capacity binary water systems. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jac/papers/vol13-issue6/Series-1/A1306010107.pdf>
7. Fang G., Li H., Yang F., Liu X. and Wu S. (2009). Preparation and characterization of nano-encapsulated n-tetradecane as phase change material for thermal energy storage, *Chemical Engineering Journal* 153, 217–221.
8. Демченко В.Г., Коник А.В., Фалько В.Ю. Патент на винахід №128359, Україна. МПК C09K5/00, C09K5/20, C23F11/00. Акумуляційна рідина для систем опалення та охолодження. Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 24.12.2021; опубл. 19.06.2024, Бюл. №25/2024.

СЕКЦІЯ 2
«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»

УДК 676.27

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНОГО КАРТОНУ

магістрант Мартинюк В.В., ст. викл. Остапенко А.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *У роботі розглянуто напрями модернізації технологічного процесу отримання електроізоляційного картону на основі небіленої сульфатної целюлози. Проведено аналіз сучасних технічних рішень для вдосконалення підготовки волокнистої маси, оптимізації розмелювання, підвищення рівномірності структури та зниження питомої електропровідності готової продукції.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИЙ КАРТОН, ЦЕЛЮЛОЗА, РОЗМЕЛЮВАННЯ, ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ОЧИЩЕННЯ МАСИ, СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ

Електроізоляційний картон – це спеціалізований листовий матеріал, виготовлений із високоякісної довговолокнистої целюлози (зазвичай сульфатної невібіленої). Картон призначений для забезпечення електричної ізоляції в енергетичних установках, зокрема у силових трансформаторах, де ізоляція піддається впливу високої напруги, температури і трансформаторного масла. Ізоляційний картон виготовляється без введення хімічних допоміжних речовин, це практично чиста целюлоза високим ступенем очищення [1].

У зв'язку із зростанням вимог до надійності силових і розподільчих трансформаторів актуальним є підвищення якості та стабільності показників електроізоляційного картону, який є основним твердим ізоляційним матеріалом у трансформаторобудуванні [2]. Вітчизняні виробники переважно працюють на

обладнанні, що експлуатується понад 20–30 років, що зумовлює обмеження за точністю підтримання технологічних параметрів та рівнем контролю волокнистої суспензії [3].

Для удосконалення технології виробництва картону запропоновано комплекс технічних рішень, що охоплює етапи прийому та розпуску сульфатної целюлози, багатоступеневе очищення маси, модернізоване розмелювання та стабілізацію концентрації перед подачею на формування полотна. Впровадження сучасних гідроциклонів дозволяє ефективніше видаляти мінеральні включення та металеві частинки, що позитивно впливає на діелектричні показники. Автоматизоване керування зазором у рафінерах забезпечує стабільність ступеня млива та повторюваність параметрів структури картону [3]. Також застосування системи точної регуляції витрати та концентрації маси на машинній частині сприяє рівномірності товщини та щільності полотна за шириною. Використання оптимізованих режимів пресування та сушіння сприяє формуванню однорідної структури волокна, що важливо для електричної міцності картону.

Очікуваний технологічний ефект полягає в підвищенні вихідної якості продукції та покращенні стабільності експлуатаційних параметрів трансформаторів [3].

Використані джерела:

1. Poletto et al., 2012 M. Poletto, A.J. Zattera, M.M. Forte, R.M. Santana Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size // Bioresource Technology, 109 (2012), pp. 148-153
2. Fernández-Diego, C.; Carrascal, I.A.; Ortiz, A.; Fernández, I.; Ferreño, D.; Diego, S.; Casado, A. Fracture toughness as an alternative approach to quantify the ageing of insulation paper in oil. // Cellulose 2021, 28, 11533–11550.

3. Mihajlovic, D.; Vasovic, V.; Lukic, J. // Development of New Accelerated Aging Test for Comparison of the Quality of Different Insulating Papers Based on Cellulose. // Polymers 2023, 15, 2556

УДК 676.2.026.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЗАХИЩЕНОГО ПАПЕРУ

магістрант Порохнюк Ю.В., к.т.н., доц. Мовчанюк О.М.

**Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

АНОТАЦІЯ: *У роботі запропоновано спосіб підвищення ефективності процесу сушіння захищеного паперу без подовження сушильної частини машини, шляхом застосування технології ударного повітряного сушіння.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАХИЩЕНИЙ ПАПР, СУШІННЯ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНІСТЬ

Підвищення енергоефективності та продуктивності сушильних частин є одним із головних напрямів удосконалення папероробних машин, особливо під час виробництва спеціальних та захищених видів паперу, що вимагають стабільної структури, однорідності та контрольованої вологості полотна.

Одним із перспективних напрямів модернізації сушильних частин є впровадження технології ударного сушіння, яка реалізується у системі OptiDry Vertical, що розроблена компанією Valmet. Ця система дозволяє суттєво збільшити ефективність сушіння без значної реконструкції машини, що є особливо важливим для існуючих ліній виробництва захищеного паперу.

Мета роботи — підвищити продуктивність, стабільність та якість сушіння шляхом впровадження системи OptiDry Vertical у сушильну частину папероробної машини з виготовлення захищеного паперу.

Технологія ударного повітряного сушіння ґрунтується на подачі високошвидкісного потоку гарячого повітря безпосередньо на вологе паперове полотно. Потік повітря з температурою до 400 °С і швидкістю 100 – 130 м/с створює інтенсивний теплообмін і випаровування вологи з паперового

полотна. Такий метод має низку переваг: значно коротший час сушіння; можливість збільшення швидкості машини без зниження якості сушіння; рівномірний розподіл вологості та температури по ширині полотна; покращення керованості процесу сушіння в режимі зміни сортів. Висока швидкість повітря забезпечує випаровування води до $130 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, що перевищує продуктивність звичайних сушильних парових циліндрів у 2 – 3 рази [1 – 3].

Система OptiDry Vertical — вертикально розташована сушильна установка, що складається з двох герметичних кожухів із газовими пальниками, вентиляторів циркуляції, повітропроводами подачі та відведення повітря, а також блока рекуперації тепла. У середині кожухів розташовані опорні вали та повітропродувні ящики, що формують стабільну петлю полотна. Високотемпературне повітря подається через соплові пластини під кутом до поверхні полотна, забезпечуючи максимальну ефективність теплообміну.

На рис. 1 показана конструкція повітряної системи вертикальної сушильної установки OptiDry Vertical компанії Valmet. Монтаж системи виконується у першій або другій сушильній групі, тобто на етапі, коли сухість полотна становить 45 – 55 %. Це дозволяє: підвищити температуру полотна перед подальшим сушінням, збільшити тиск пари в циліндрах без ризику порушення цілісності полотна, підвищити загальну швидкість лінії. Система монтується у підвальній частині сушильної секції, без необхідності демонтажу чи зміни каркасу машини. Завдяки компактній конструкції установка є ідеальним рішенням для модернізації діючих папероробних машин [1, 2].

Основні переваги системи OptiDry Vertical для машин із виготовлення захищеного паперу [2]:

- підвищення швидкості виробництва без зниження якості паперу;
- покращення рівномірності вологості та натягу полотна;
- зниження витрат завдяки рекуперації тепла;

- мінімальні будівельні зміни;
- скорочення часу простою на модернізацію;
- короткий період окупності інвестицій.

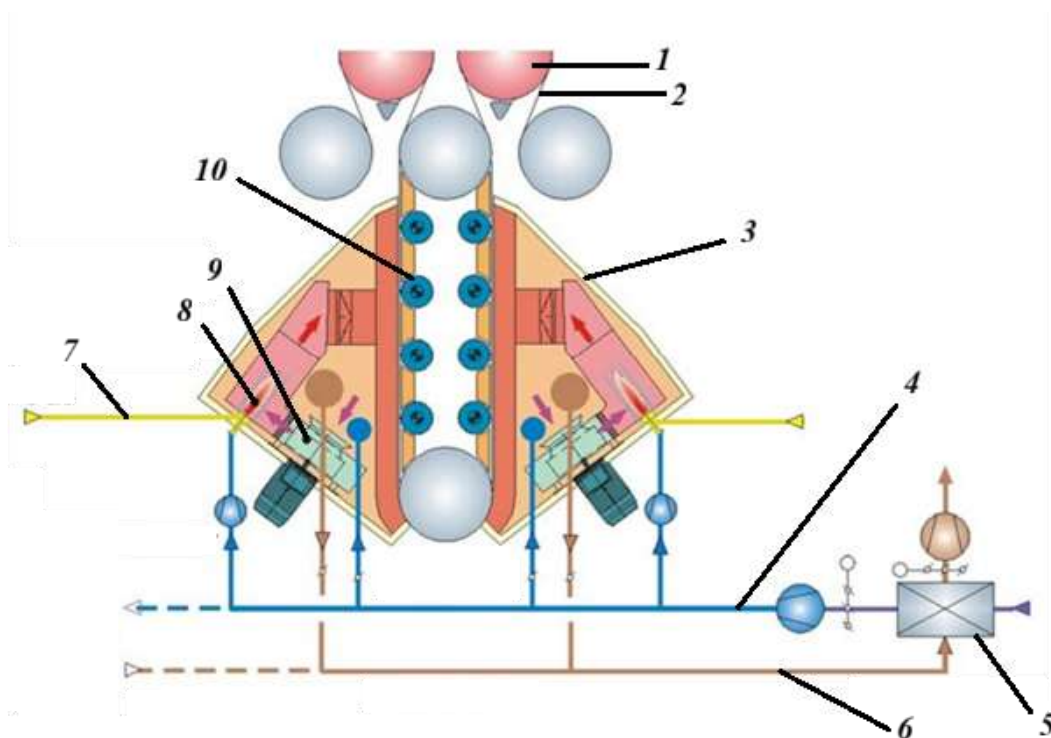


Рис. 1. Повітряна система сушильної установки OptiDry Vertical [1]:

- 1 – сушильний циліндр; 2 – паперове полотно; 3 – кожух; 4 – магістраль припливного повітря; 5 – блок рекуперації тепла; 6 – магістраль витяжного повітря; 7 – подача газу; 8 – газовий пальник; 9 – циркуляційний вентилятор; 10 – опорні валики

У компанії Steinbeis Papier GmbH (Німеччина), що в 2009 р. реалізувала проєкт модернізації своєї папероробної машини РМ 4 із використанням системи OptiDry Vertical, монтаж тривав лише 14 днів, а запуск відбувся вже на 12-й день [3]. Дослідження [1, 2] показали, що загальне енергоспоживання сушильної частини при впровадженні OptiDry Vertical залишається на рівні традиційного сушіння, але частина парової енергії замінюється природним газом, спалювання якого має менш негативний вплив на навколишнє

середовище. Завдяки ефективнішій теплопередачі й рекуперації тепла з відпрацьованого повітря, рівень викидів CO₂ може бути значно знижений.

Дієздатність нової концепції була перевірена на пілотних машинах зі швидкістю від 600 до 2400 м/хв. За швидкості машини менше 600 м/хв достатньо валків з гладкою поверхнею, за швидкості від 600 до 1500 м/хв необхідні рифлені опорні валки. Нарешті, на найвищих швидкостях, понад 1500 м/хв, необхідно застосувати вакуум. Вакуум, що створюється опорними валиками VacRolls, усуває надлишковий тиск, який сприяє від'єднанню паперу від сукна. Вакуумні валики мають рифлену поверхню з перфорацією. Вони всмоктують повітря через отвори в сорочці, створюючи розрідження у жолобках, що і утримує папір у постійному контакті з сукном в кожній частині вертикальної петлі [1].

OptiDry Vertical підходить для всіх сортів паперу та картону, і може використовуватися з будь-якою комплектацією сушильної частини машини. На рис. 2 зображено встановлення цієї сушильної системи на машині з однорядним розташуванням сушильних циліндрів.

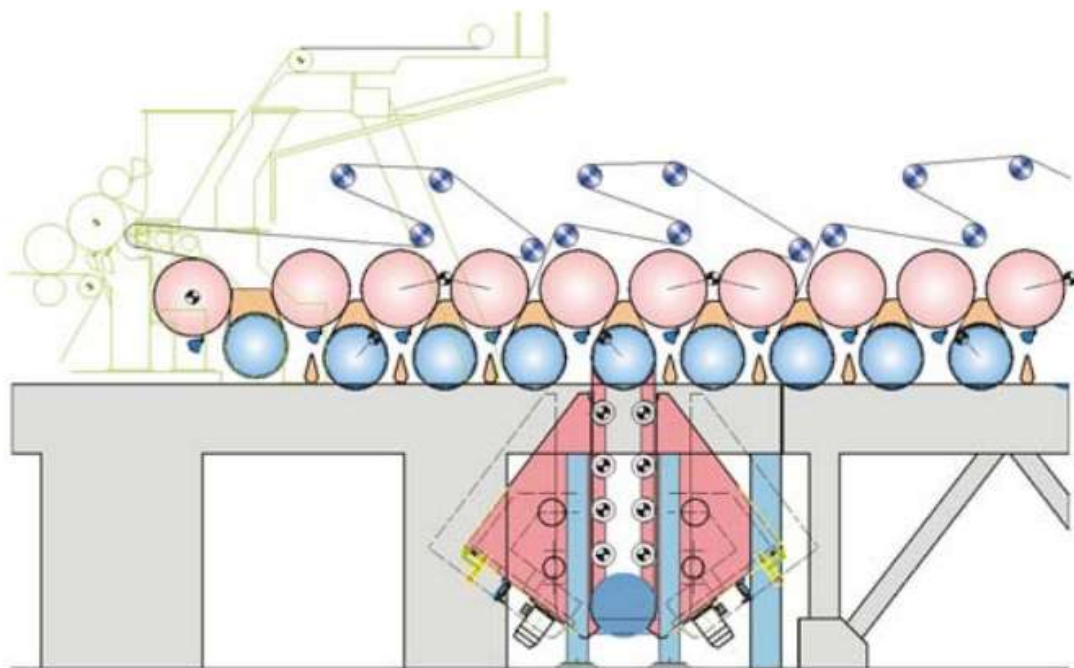


Рис. 2. Встановлення OptiDry Vertical в сушильній частині з однорядним розташуванням сушильних циліндрів [1]

Таким чином встановлення системи OptiDry Vertical на папероробну машину з виготовлення захищеного паперу забезпечить комплексне підвищення ефективності процесу сушіння. Технологія ударного повітряного сушіння дозволить збільшити швидкість і продуктивність сушильної частини машини без її подовження, покращити рівномірність сушіння та якість поверхні паперу, знизити витрати пари й викиди CO₂, скоротити терміни монтажу та окупності інвестицій. OptiDry Vertical є оптимальним рішенням для модернізації папероробних машин, орієнтованих на виробництво високоякісного захищеного паперу з контрольованими параметрами вологості, товщини та оптичних властивостей.

Використані джерела:

1. Valmet. White Paper: Air Systems – Impingement Drying / Valmet. Technical Paper Series. — May 17, 2012. URL: https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/drying-and-air-systems/wpd_impingementdrying.pdf (дата звернення: 23.11.2025).
2. Revolutionary technology for drying capacity increase in rebuilds. OptiDry Vertical impingement dryer. URL: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/impingement-drying/optidry-vertical/> (дата звернення: 23.11.2025).
3. Steinbeis PM 4 increases its production capacity. Jan 14, 2010. URL: <https://www.valmet.com/insights/articles/all-articles/steinbeis-pm-4-increases-its-production-capacity/> (date of access: 23.11.2025).

UDC 661.7+66.08+628.1

INVESTIGATION OF WIRE WATER FROM CELLULOSE MEMBRANE PRODUCTION

PhD in Technical Sciences, Associate Professor Trembus I. V., PhD student

Haponiuk A. S., student Kyslyi V. V.

Department of Ecology and Technology of Plant Polymers

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The paper presents a study of wire water formed during the fabrication of cellulose membranes from organosolv cellulose obtained from Miscanthus × giganteus. The results show that the water has stable pH values and does not contain toxic components, confirming the environmental safety of the process. Slight increases in turbidity and color were observed, while all other parameters met the requirements of DSTU 7525:2014.*

KEY WORDS: ORGANOSOLV CELLULOSE, MISCANTHUS × GIGANTEUS, CELLULOSE MEMBRANES, WIRE WATER

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСІТКОВИХ ВОД ВИРОБНИЦТВА ЦЕЛЮЛОЗНИХ МЕМБРАН

к. т. н, доцент Трембус І. В., аспірант Гапонюк А. С., студент Кислий В.В

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

АНОТАЦІЯ: У роботі представлено результати дослідження підсіткових вод, що утворюються під час виготовлення целюлозних мембран з органосольвентної целюлози, отриманої зі стебел міскантусу (*Miscanthus × giganteus*). Встановлено, що вода має стабільні показники рН і не містить токсичних компонентів, що підтверджує екологічну безпечність процесу.

Спостерігалось незначне підвищення каламутності та кольоровості, тоді як інші показники відповідали вимогам ДСТУ 7525:2014.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОРГАНОСОЛЬВЕНТНА ЦЕЛЮЛОЗА, *MISCANTHUS* × *GIGANTEUS*, ЦЕЛЮЛОЗНІ МЕМБРАНИ, ПІДСІТКОВІ ВОДИ

The production of cellulose membranes from oxidized–organosolv cellulose obtained from renewable plant-based raw materials, particularly *Miscanthus* × *giganteus* stems, contributes to reducing the adverse environmental impact of industrial processes [1, 2]. Nevertheless, despite the advantages of implementing such technologies, the issue of handling process water generated during the sheet-forming stage — commonly referred to as wire water — remains a significant environmental concern [3].

In the process of producing membranes from modified cellulosic fibers, an important environmental aspect is the analysis of the resulting process water. These effluents contain fibrous semi-products, residual chemical reagents, monomers, stabilizers, as well as suspended filler particles (such as bentonite, activated carbon, etc.), which may have an adverse impact on the environment in the case of uncontrolled discharge [2, 3].

In this regard, a study was conducted on the fabrication process of cellulose membranes from organosolv cellulose derived from *Miscanthus* [4], along with an assessment of the quality of the wire water generated during their formation. The obtained results provide a basis for the environmental evaluation of the production process and substantiate the feasibility of implementing closed-loop water circulation systems within the membrane formation technology.

The study employed two types of filter materials based on oxidized–organosolv cellulose obtained from *Miscanthus* stems.

The first type was fabricated from oxidized–organosolv cellulose fibers that had been pre-modified with an aminating reagent in the amount of 40% of the absolutely dry fiber mass.

The second type of filter material was also produced from oxidized–organosolv cellulose fibers pre-modified with an aminating reagent in the amount of 40% of the absolutely dry fiber mass. During the sheet formation process, polyvinyl alcohol (PVA) was added to the fiber suspension in an amount corresponding to 20% of the absolutely dry fiber mass.

During the study, the main quality parameters of the wire water generated during the fabrication of the mentioned membranes were analyzed. The obtained results were compared with the corresponding quality indicators of the process (tap) water (Table 1).

Table 1 – Quality parameters of wire water

Parameter	Process water	Wire water after fabrication of membrane type 1	Wire water after fabrication of membrane type 2
Odor at 60 °C	2	2	2
Turbidity, mg/dm ³	2,0	3,0	5,3
Color, degrees	35	56	65
Dry residue (total mineralization), mg/dm ³	200	149	459
Hydrogen index, pH units	6,5 – 8,5	6-7	6-7
Total hardness, mmol/dm ³	5	7	8
Chlorides, mg/dm ³	23	24	46
Oxidizability, mgO ₂ /dm ³	5	10	12

The obtained research results indicate that the wire water formed during the fabrication of cellulose membranes from organosolv cellulose derived from *Miscanthus* exhibits stable acid–base balance parameters (pH 6–7) and contains no aggressive or toxic components, confirming the environmental safety of the fiber modification process. The main factors affecting the quality of such water are the presence of fine-dispersed particles and residual organic compounds, which cause an increase in turbidity and color. The values of dry residue, chlorides, and oxidizability do not exceed the regulatory limits established by DSTU 7525:2014 [5], confirming that the water meets environmental quality requirements. To minimize the environmental impact of production, it is advisable to implement closed water circulation systems or apply preliminary treatment of wire water using filtration, coagulation, or sorption methods. The obtained data confirm the feasibility of environmentally safe cellulose membrane fabrication, provided that the quality of process water is continuously monitored.

References

1. Togo, K., Yamamoto, M., Imai, M. et al. Comparison of biocompatibility in cellulose triacetate dialysis membranes with homogeneous and asymmetric structures. *Ren Replace Ther* 4, 29 (2018). <https://doi.org/10.1186/s41100-018-0171-x>
2. Trembus I., Haponiuk A. Application of polyvinyl alcohol to improve the filtration properties of cellulose membranes. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*; 2025; 4 (355): 96–100.
3. Levytskyi V.V., Savchuk O.M., Kulyk M.M. Ekolohichna otsinka vidkhodiv vodoochyschennia u tseliulozno-paperovomu vyrobnytstvi. – *Visnyk KNUTD*, 2021, № 5, 47–52.
4. Trembus I.V., Haponiuk A.S. Sposib otrymannia tseliuloznoho filtruvalnoho materialu. No. 160395 zareiestrovano v Derzhavnomu reiestri Ukrainy korysnykh modelei 03.09.2025.

5. DSTU 7525:2014 Voda pitna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti.
– Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2015. – 32 s.

УДК 628.16:661.183

МОДИФІКАЦІЯ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЇХНЬОЇ СОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ДО СПОЛУК ЗАЛІЗА ТА МАНГАНУ.

Магістр Ліщенко Д. Ю., доцент, к.т.н., Твердохліб М. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. У даній роботі розглянуто методи модифікації вуглецевих матеріалів для підвищення сорбційної ємності та селективності по відношенню до іонів заліза та мангану, що можуть бути використані в технологіях очищення води.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАЛІЗО, МАНГАН, МОДИФІКАЦІЯ, АДСОРБЦІЯ, ПИТНА ВОДА.

Проблема забруднення водних ресурсів, особливо підземних вод, високими концентраціями Феруму та Мангану є притаманною для багатьох регіонів України. Хоча ці метали відносяться до мікроелементів, їх надлишок призводить до значного погіршення органолептичних та фізико-хімічних властивостей води, що в свою чергу впливають на здоров'я населення. Традиційні методи водоочищення, такі як аерація, окиснення хімічними реагентами та хімічне осадження, мають суттєві обмеження. Хімічне осадження, незважаючи на свою ефективність, призводить до утворення великих обсягів шламу, що збільшує експлуатаційні витрати на його подальшу обробку. Електрохімічні методи, хоча і можуть зменшити концентрацію металів, є енергоємними. У цьому контексті адсорбційні методи можуть бути високоефективною альтернативою, що характеризується низьким енергоспоживанням, простотою процесу, високою ефективністю видалення та потенційною можливістю регенерації адсорбенту [1].

Активоване вугілля (AB) та біовугілля (BB) є одними з найбільш досліджуваних матеріалів для адсорбції завдяки їхній високій питомій поверхні великому пористому об'єму та доступності вихідної сировини. Однак немодифіковані вуглецеві матеріали мають обмежену хімічну селективність та недостатню кількість активних функціональних груп для ефективного і селективного видалення іонів феруму та мангану. Тому для збільшення адсорбційної здатності матеріалу необхідна цілеспрямована хімічна модифікація, яка полягає у введенні оксидів або оксигідроксидів Fe та Mn [2]. Крім того, при видаленні сполук заліза та мангану важливо враховувати, що процес часто включає окисно-відновні реакції. Модифікація сорбенту з утворенням на його поверхні, наприклад MnO_2 або Fe_3O_4 , надає йому каталітичних властивостей. Використання таких каталітичних завантажень дозволяє ефективно поєднувати окислення розчинених форм заліза та мангану, їх подальше осадження у вигляді нерозчинних сполук та фільтрацію цих осадів в об'ємі одного фільтрувального апарату.

В основу наших досліджень покладено розробку методу модифікації сорбентів шляхом послідовної реагентної та термічної обробки вуглецевих матеріалів. Запропонований підхід дозволяє формувати на поверхні вуглецевих матриць функціональні групи та центри, які забезпечують високу селективність і сорбційну ємність щодо іонів заліза та марганцю. Очікується, що використання таких модифікованих сорбентів суттєво підвищить економічну вигоду та екологічну безпеку процесів водоочищення, сприяючи створенню більш стійких, ефективних рішень у сфері водопідготовки.

Використані джерела:

1. Ayach, J. et al. Comparing Conventional and Advanced Approaches for Heavy Metal Removal in Wastewater Treatment: An In-Depth Review Emphasizing Filter-Based Strategies. *Polymers*. 2024. Vol. 16, no. 14. P. 1959.

2. Liu, C. et al. Research Progress on the Preparation of Iron-Manganese Modified Biochar and Its Application in Environmental Remediation. *Toxics*. 2025. Vol. 13, no. 8. P. 618.

UDC 67602

FEATURES OF DOCUMENT PAPER PRODUCTION

PhD in Technical Sciences, Associate Professor Trembus I.,

Master's Students Stepanyshyna A., Porokhniuk V.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *This paper examines the production of document paper using cotton and hemp fibers, kaolin as a mineral filler, and rosin as a sizing agent. It analyzes the chemical processes involved in fiber delignification, filler dispersion, and hydrophobic film formation on the sheet surface. The combination of plant-based raw materials with functional additives improves paper strength, water resistance, and dimensional stability, reduces cellulose consumption, and ensures compliance with archival standards.*

KEYWORDS: *DOCUMENT PAPER, COTTON, HEMP, KAOLIN, ROSIN, SIZING*

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ДОКУМЕНТНОГО ПАПЕРУ

к. т. н., доцент Трембус І. В., магістр Степанишина А., Порохнюк В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто особливості виробництва документного паперу з використанням бавовняних і конопляних волокон, каоліну як мінерального наповнювача та каніфольної смоли як проклеюючої речовини. Проаналізовано хімічні процеси, делігніфікацію волокон, диспергування наповнювача та утворення гідрофобної плівки на поверхні аркуша. Встановлено, що поєднання довговолокнутої рослинної сировини з функціональними добавками дозволяє покращити міцність, водостійкість і стабільність розмірів паперу, зменшити витрати на целюлозу та забезпечити відповідність архівним стандартам.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *ДОКУМЕНТНИЙ ПАПІР, БАВОВНА, КОНОПЛИ, КАОЛІН, КАНІФОЛЬ, ПРОКЛЕЮВАННЯ*

In modern document paper production, there is a growing interest in the use of alternative raw materials and functional additives that improve physical and mechanical properties, reduce production costs, and ensure long-term durability of the product. Particular attention is given to plant fibers such as cotton and hemp, as well as to mineral and organic components, including kaolin and rosin resin.

Cotton cellulose is a traditional base material for the production of high-quality document paper. It contains up to 95% α -cellulose and has a low content of lignin and hemicelluloses, which ensures color and pH stability [1]. Cotton fibers can reach lengths of up to 50 mm, contributing to the formation of a dense sheet structure with high tensile strength. In an aqueous medium, they form hydrogen bonds that enhance the mechanical durability of the paper [2].

Hemp fibers, containing up to 77% cellulose, are characterized by high rigidity, low hygroscopicity, and natural antimicrobial activity [3]. Their use helps reduce paper deformation under varying humidity conditions and increases abrasion resistance. Before being used in paper production, the fibers undergo a delignification process — the removal of lignin using various chemical reagents, which ensures the preservation of the carbohydrate backbone of cellulose.

Mineral fillers, particularly kaolin, play an important role in shaping the optical and printing properties of paper. Kaolin is a hydrated aluminum silicate ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) characterized by a plate-like structure and particle size of 1–10 μm [4]. Its introduction into the paper pulp increases sheet opacity, whiteness, and surface smoothness. During production, kaolin is added as an aqueous suspension at pH 6–8, which is evenly distributed among the fibers. Electrostatic interactions between kaolin particles and cellulose fibers contribute to the stabilization of the sheet structure [5].

In addition, kaolin can partially replace cellulose, thereby reducing the consumption of primary raw materials. According to manufacturers, the use of kaolin in an amount up to 15% of the dry mass maintains high-quality performance while reducing cellulose consumption by 8–10% [6]. Calcined kaolin, which undergoes thermal treatment at temperatures above 600 °C, possesses a porous structure and high whiteness, making it an effective substitute for titanium dioxide [7].

To ensure water resistance and surface stability of paper, sizing agents are used. One of the most common is rosin resin—a product of pine resin processing that contains up to 90% resin acids, primarily abietic acid ($C_{19}H_{29}COOH$). In a neutral medium, rosin undergoes an esterification reaction with the hydroxyl groups of cellulose, forming a hydrophobic film that reduces capillary water absorption [8].

The sizing process is activated using aluminum-based coagulants, particularly aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), which facilitates the fixation of rosin on the fibers. In an aqueous medium, Al^{3+} ions form complex compounds with the carboxyl groups of resin acids, ensuring stable attachment of the hydrophobic layer [9]. The melting point of rosin is 100–120 °C, allowing its use under the thermal drying conditions of paper production without loss of properties [10].

Experimental studies show that the use of rosin resin at a concentration of 0.5–1.0% provides water resistance of up to 80%, while maintaining sheet flexibility and mechanical strength [10]. At the same time, an excessive amount of rosin may reduce ink adhesion and cause surface defects; therefore, it is important to adhere to technological standards.

The combination of cotton and hemp fibers, kaolin, and rosin resin enables the production of document paper with superior performance characteristics. Such paper exhibits increased strength, water resistance, dimensional stability, and durability, meeting the requirements of ISO 9706 and DIN 6738 standards. Further research in document paper production technology should focus on optimizing the chemical

processes of sizing and exploring new environmentally friendly components capable of enhancing paper properties without harming the environment.

References

1. Naturalni volokna roslynnoho pokhodzhennia: bavovna, lnnon [Elektronnyi resurs] // Naurok. - Rezhym dostupu: <https://naurok.com.ua/naturalni-volokna-roslinnogo-pohodzhennya-bavovna-lon-h-oderzhannya-budova-ta-vlastivosti-342617.html>
2. Vlastyvoli bavovny: perevahy ta nedoliky [Elektronnyi resurs] // Roksana-shop. - Rezhym dostupu: <https://roksana-shop.com/blog/scho-take-bavovna-scho-za-tkanina-vlastivosti-perevagi-ta-nedoliky>
3. Cheriopkina R. I., Denysenko A. M. Khimichne pereroblennia obhortok kachaniv kukurudzy na voloknysti napivfabrykaty // Visnyk NTUU "KPI". Seriia "Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia". - 2021. - ,Ññ 1 (20). - S. 63-73.
4. Vyrobnystvo kaolinu z vykorystanniam ustanovky AVS-100 [Elektronnyi resurs] // Globecore. - Rezhym dostupu: <https://globecore.ua/vyrobnycztvo-kaolinu-z-vykorystannyam-ustanovky-avs-100.html>
5. Rynky zastosuvannia kaolinu [Elektronnyi resurs] // AKW Ukrainian Kaolin Company. - Rezhym dostupu: <https://ukc-kaolin.com/rinki/papir>
6. Production method of calcined kaolin [Elektronnyi resurs] // HC-Mill. - Rezhym dostupu: <https://www.hc-mill.com/uk/news/production-method-of-calcined-kaolin-calcined-kaolin-ultra-fine-vertical-roller-mill/>
7. Khimichna promyslovist Ukrainy [Elektronnyi resurs] // Studfile. - Rezhym dostupu: <https://studfile.net/preview/11038461/page:3/>
8. Systema Optimum. Kanifolna smola yak prokleiuiucha rehovyna [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://www.optimum.ua/kanifolna-smola-vlastyvoli-zastosuvannya/>

9. Cheriopkina R. I., Trembus I. V., Deikun I. M., Barbash V. A. Tekhnolohiia nederhevnykh voloknystykh napivfabrykativ. - Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. - 229 s.
10. Circular Economy Strategies: Use of Corn Waste to Develop Biomaterials / Hernando Darío Castaño Castrillón, Carlos Mario Gutiérrez Aguilar, Beatriz Elena Angel Álvarez [Elektronnyi resurs] // ResearchGate. - Rezhym dostupu:
https://www.researchgate.net/publication/353521355_Circular_Economy_Strategies_Use_of_Corn_Waste_to_Develop_Biomaterials.

UDC 67602

RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF DOCUMENT PAPER

PhD in Technical Sciences, Associate Professor Trembus I.,

Master's Students Porokhniuk V., Stepanyshyna A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The paper examines the characteristics of raw materials used in the production of document paper. The chemical composition of cellulosic fibers of wood and nonwood origin and their influence on the physical, mechanical, and optical properties of the final product are analyzed. The requirements for fiber purity, whiteness, and length, as well as the role of mineral fillers and sizing agents in paper structure formation, are described. It has been established that an optimal combination of cotton, wood, and recycled cellulose ensures the required strength, dimensional stability, and long-term preservation of document paper in accordance with quality standards.*

KEYWORDS: *DOCUMENT PAPER, CELLULOSE, FIBERS, COTTON, FILLER, SIZING*

СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДОКУМЕНТНОГО ПАПЕРУ

к. т. н., доцент Трембус І. В., магістр Порохнюк В., Степанишина А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто особливості сировини, що використовується для виготовлення документного паперу. Проаналізовано хімічний склад целюлозних волокон деревного та недеревного походження, їх вплив на фізико-механічні та оптичні властивості готової продукції. Охарактеризовано вимоги до чистоти, білості та довжини волокон, а також роль мінеральних наповнювачів і*

проклеюючих речовин у формуванні структури паперу. Встановлено, що оптимальне поєднання бавовняної, деревної та вторинної целюлози забезпечує необхідну міцність, стабільність розмірів і тривале зберігання документного паперу відповідно до стандартів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОКУМЕНТНИЙ ПАПІР, ЦЕЛЮЛОЗА, ВОЛОКНА, БАВОВНА, НАПОВНЮВАВАЧ, ПРОКЛЕЮВАННЯ

In the technology of document paper production, the raw material determines the main performance and evaluation characteristics, such as whiteness, durability, mechanical strength, dimensional stability, and archival permanence. Therefore, when designing the formulation, the primary attention is given to the quality of the fibrous component, the chemical composition of fillers, and the type of sizing agents used.

The primary component is fibrous semi-finished materials. Traditionally, the production of document paper favors semi-finished products with a high content of α -cellulose, minimal ash content, and low residual lignin, as these properties reduce the risk of sheet yellowing and oxidative aging. The technological principles of pulp preparation and adherence to processing conditions have a direct impact on the final quality characteristics of document paper [1].

Alongside traditional wood cellulose, recent Ukrainian research has shown a growing interest in nonwood semi-finished materials – agricultural fibers and production residues. Studies indicate that under optimized delignification and mechanical treatment conditions, these nonwood materials yield semi-finished products that can be used as a partial substitute for wood cellulose in paper formulations, with only a moderate effect on the sheet's strength and optical properties. This approach opens the way to reducing production costs and increasing the local material self-sufficiency of the paper industry [2, 3].

Cotton and bast (flax/hemp) cellulose occupy a special place in the formulations of high-quality document paper. These fibers provide enhanced durability and resistance to oxidation; therefore, they are often used in archival-grade products. Studies devoted to the physicochemical properties of plant fibers report a high α -cellulose content in cotton and a long fibrous structure of flax and hemp materials, which contribute to the formation of a strong fibrous matrix and improvement of the mechanical performance of paper [4].

In parallel with fibrous components, mineral fillers are used to form a high-quality and aesthetically smooth paper surface. Among them, kaolin stands out for its high whiteness and plate-like morphology, which reduce ink absorption, enhance surface smoothness, and improve the optical properties of the sheet. Research on the use of kaolin focuses on its quality and the technologies of enrichment and calcination, which allow the fillers to be adapted to the requirements of the pulp composition while minimizing adverse effects on inter-fiber bonding [5, 6]. However, an important consideration is that increasing the filler content beyond the technologically justified limits may weaken fiber bonding; therefore, in document paper formulations, the proportion of kaolin and similar additives is typically limited and strictly controlled [5].

Functional additives – sizing agents – determine the interaction of paper with moisture and ink. Natural sizing agents (for example, rosin) are used to impart internal or surface hydrophobicity to the sheet. Their action is realized through chemical bonding with the hydroxyl groups of cellulose and fixation by aluminum salt-based coagulants. In practice, this approach reduces capillary absorption and ensures print clarity; however, excessive use of sizing substances may compromise compatibility with coloring systems [7, 8].

To enhance the structural stability of paper and improve its optical properties, complex additive systems combining mineral and organic components can be introduced into the pulp. Such compositions enable a uniform distribution of fillers

within the fibrous matrix and promote better interaction among kaolin particles, cellulose fibers, and sizing agents. As a result, the risk of sheet delamination is reduced, while surface smoothness and opacity are improved, along with a decrease in dye consumption during printing [5, 6].

A successful combination of all components namely wood and nonwood fibers, carefully selected mineral fillers, and moderately dosed sizing agents makes it possible to produce document paper with high-quality performance characteristics.

References

1. Movchaniuk O. M. Tekhnolohiia pryhotuvannia paperovoi masy: posibnyk. – Kyiv: KPI, 2022. – (Elektronna versiiia). – Rezhym dostupu: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/12345>
2. Kharchuk O. H. Tseliulozno-paperova haluz u konteksti suchasnykh vyklykiv // Ekonomichnyi visnyk imeni Vernadskoho. – 2020. – № 4. – S. 45–52.
3. Cheriopkina R. I., Denysenko A. M. Khimichne pereroblennia obhortok kachaniv kukurudzy na voloknysti napivfabrykaty // Visnyk NTUU "KPI". Seriia "Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia". – 2021. – № 1 (20). – S. 63–73.
4. Cheriopkina R. I., Trembus I. V., Deikun I. M., Barbash V. A. Tekhnolohiia nederhevnykh voloknystykh napivfabrykativ: pidruchnyk. – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. – 229 s.
5. Berdychevska M. V., Konovalova N. S. Perspektyvy rozvytku vyrobnytstva zbahachenoho kaolinu v Ukraini // Materialy konferentsii NTUU "KPI". – 2017. – Rezhym dostupu: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23047/1/kaolin.pdf>
6. Instruksii ta normatyvni dokumenty shchodo zastosuvannia kaoliniv u promyslovosti [Elektronnyi resurs] // Ofitsiini publikatsii Ukrainy. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/>

7. Cheriopkina R. I. Napivfabrykaty iz nederhevnoi syrovyny dlia vyhotovlennia paperu // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriia "Tekhnichni nauky". – 2020. – № 4 (148). – S. 140–148.
8. Meniailo-Basysta I. O. Porivnialni kharakterystyky tseliuloz roslynnoho pokhodzhennia (bavovna, lnnon, konopli) // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriia "Tekhnichni nauky". – 2019. – № 3. – S. 56–61.

УДК 676.062.

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ РОЗВОЛОКНЕННЯ СУЛЬФАТНОЇ НЕВИБІЛЕНОЇ ХВОЙНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ НА ЯКІСТЬ ВОЛОКНИСТОЇ МАСИ

Щегорцова Т.В., магістрант, Черьопкіна Р.І., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТОЦІЯ. Охарактеризовано процес розпуску волокнистих напівфабрикатів з первинного волокна. Обґрунтовано вибір типу гідророзбивача.

INFLUENCE OF THE PROCESS OF DISCHARGE OF UNBLEACHED SULPHATE SOFTWOOD CELLULOSE ON THE QUALITY OF PAPER PULP

Shchegortsova T.V., Master's student, Cherepkina R.I., Ph.D., Associate Professor

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT. The process of dissolving fibrous semi-finished products from primary fiber is characterized. The choice of the type of hydrocracker is justified

На сьогоднішній день сульфатна невібілена та вибілена хвойна целюлоза, в основному, використовується для виробництва картону, оскільки характеризується високими паперотворними властивостями. Однак вона важко піддається розмелюванню, що необхідно враховувати у випадку її використання у технологічному потоці виготовлення картону. Частково таку закономірність можна пояснити більш рівномірним розташуванням залишкового лігніну та геміцелюлоз вглиб товщини вторинної стінки, що збільшує час просочення і, відповідно, набухання геміцелюлоз, від яких залежить якість фібрилювання волокна. Розподіл лігніну і геміцелюлоз за товщиною клітинної стінки волокна наведено на рис.1 [1].

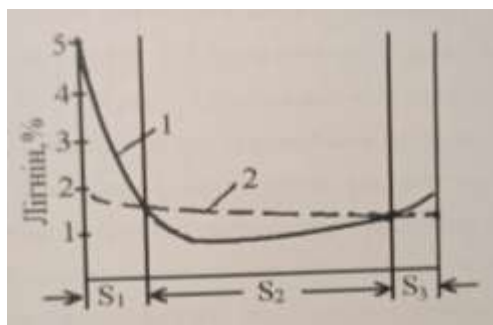


Рисунок 1 – Розподіл лігніну і геміцелюлоз за товщиною клітинної стінки волокна:

1) сульфатна; 2) сульфатна целюлоза

Сульфатна невібілена хвойна целюлоза характеризується високою міцністю за рахунок наявності довгих волокон та меншої кількості мікротріщин у волокні, що варто враховувати для розпускання її в апаратах безперервної або періодичної дії.

Розпуск і розволокнення волокнистих напівфабрикатів є першою технологічною стадією в системі перероблення їх на волокнисту масу. Основним завданням на цій стадії є змочування целюлози водою, яка проникає у пори, що призводить до набухання волокон для кращого подальшого фібрилювання волокон під час розмелювання. У результаті між волокнами розриваються міцні водневі зв'язки і відбувається заміщення цих зв'язків слабкими водневими мостиками. Вода відіграє роль мастила, за рахунок чого знижується тертя між волокнами. Ці фізико-хімічні властивості забезпечують сприятливі передумови для розволокнення целюлози у апаратах різного типу.

Метою розпуску і розволокнення целюлози є ощадливе розділення волокон під впливом води для максимального збереження їх якості.

Руйнування цілісності целюлозного листа та його розволокнення у водному середовищі відбувається за рахунок дії на нього гідродинамічних і механічних процесів. Цей вплив виникає за рахунок гідравлічних потоків у водному середовищі, які приводять у рух пучки целюлози. Особливістю гідравлічних потоків є наявність у них швидкісних градієнтів. Окремі шари

потоків рухаються з різною швидкістю і навіть у різних напрямках. У результаті виникає руйнівний вплив на пучки целюлози, які знаходяться у цих шарах.

Одночасно в гідравлічних потоках апаратів пучки волокон під час руху стикаються із стінками апаратів, ребрами, один з одним та отримують ударні імпульси і додатково розділяються. Додатковий механічний вплив пучки волокон отримують за рахунок тертя і зсуву на стінках апаратів, між окремими пучками, під час проходження маси по поверхні ротора. За рахунок сил тертя відбувається розділення пучків волокон в зазорах між рухомих і нерухомих елементів апаратів. Оскільки міцність волокон, з яких складається картон, суттєво перевищує міцність вологого листа, тому механічні впливи дозволяють розділяти їх на окремі волокна без порушення їх цілісності.

При надмірному тиску під час розпускання маси відбувається укорочення волокон, що негативно впливає на якість маси, відповідно отримують знижені показники міцності розривної довжини та опору роздиранню готового картонного полотна. Також, як наслідок, можливе погане зневоднення маси під час формування полотна на картоноробній машині.

Однак важливою метою розпуску також є перетворення сухого волокна на волокнисту суспензію, що в подальшому надасть можливість її перекачувати за допомогою насосів для використання в технологічному потоці. Тому вибір гідророзбивача потребує особливої уваги, адже процес розволокнення є ще й дуже енергозатратним [2].

Одним із потужних та ощадливих видів обладнання для періодичної та безперервної роботи пропонується обрати гідророзбивач від компанії ANDRIZ моделі FibreSolve [3], зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.

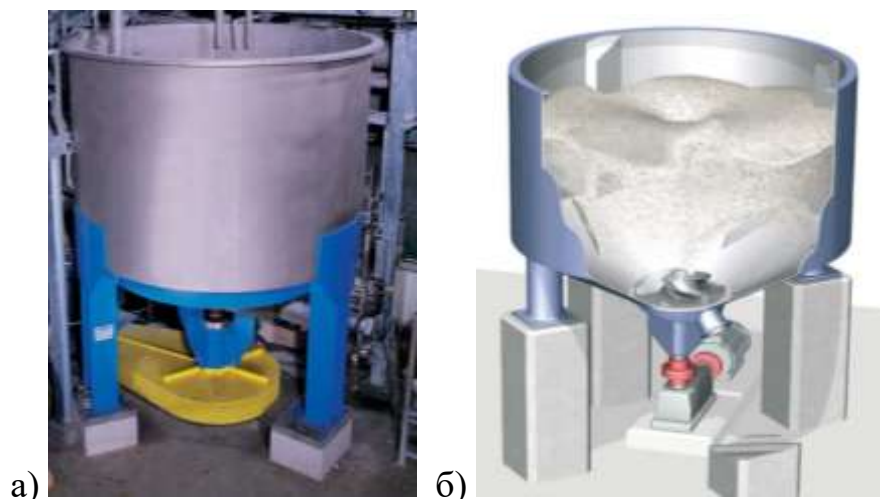


Рисунок 2 – Вертикальний гідророзбивач від ANDRIZ моделі FibreSolve FSV

а) вид збоку б) вид в розрізі

Такий гідророзбивач додатково модернізований ротором FSV, (рис. 3), що було презентовано в 2024 році забезпечує високу продуктивність розволокнення з низьким використанням енергії.

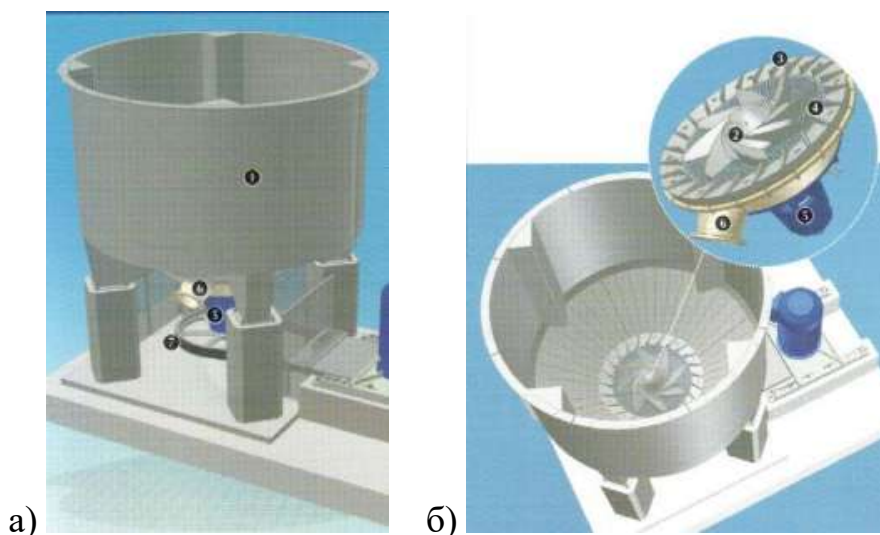


Рисунок 3 – Конструкція гідророзбивача від ANDRIZ моделі FibreSolve FSV:

а) вид збоку; б) вид зверху

1) ванна; 2) ротор; 3) ножі; 4) сортувальна сітка; 5) корпус вальниці; 6) корпус випуску, що має потовщення; 7) зубчастий привід

Перевагами цієї моделі можна вважати розробку литого ротора з особливою конструкцією лопастей, які у ході роботи створюють циркуляцію маси, забезпечуючи високу ефективність та зменшення енергоспоживання. Ротор, що розташований внизу чаші оптимізовано так, щоб максимально створити потужний потік маси, що розпускається. Целюлоза спрямовується до центру, а потім повертається до стінок. Ідеальне рішення для довгих невивілених хвойних волокон, адже розпуск відбувається шляхом тертя волокон один об одного. Міцна конструкція гідророзбивача, передбачає, в свою чергу, зменшення вібрації у зоні ротора, а тому подовжує службу підшипників та приводу і не потребує постійного обслуговування, що зменшує кількість простоювання обладнання.

Технологічними перевагами також вважають високий ефект розволокнення, низькі витрати енергії, можливість застосування для різних видів волокнистих напівфабрикатів.

Загальні характеристики ряду моделей наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Загальні характеристики гідророзбивача від ANDRIZ серії FibreSolve FSV

Серія	Модель	Чистий об'єм (Net volume), м ³	Встановлена потужність (Installed power), кВт
FSV1	FSV1-06, FSV1-09, FSV1-12	6 – 12	45 – 160
FSV2	FSV2-16, FSV2-20, FSV2-26	16 – 26	110 – 355
FSV3	FSV3-33, FSV3-43, FSV3-56	33 – 56	200 – 800
FSV4	FSV4-72, FSV4-90, FSV4-120	72 – 120	500 – 1500

Література:

1. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М. Технологія виробництва сульфатної целюлози: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології

та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології». – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022. – 272 с.

2. Технологія приготування паперової маси [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньої програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» / О.М. Мовчанюк, А.А. Остапенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 2,43 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 135 с.

3. ANDRITZ FibreSolve pulpers/ <https://www.andritz.com>, <https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/paper-production/stock-preparation/fibresolve-pulping>

УДК 504:628.4:661.1

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ, УТИЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХОРОНЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ.

Магістр Умнов І. Д., доцент, к.т.н., Твердохліб М. М., доцент, д.т.н., Трус І. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. У роботі розглянуто методи утилізації фармацевтичних відходів, зокрема спалювання (найпоширеніший метод), захоронення, компостування, а також заходи щодо зменшення утворення відходів, їх повторної обробки та переробки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФАРМАЦЕВТИЧНІ ВІДХОДИ, УТИЛІЗАЦІЯ, СПАЛЮВАННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

Відходи фармацевтичної галузі є складними за складом і потребують ретельного управління через їхній потенційний вплив на здоров'я людини та довкілля. Кожен тип відходів має свої особливості, що зумовлюють вибір відповідного методу утилізації. Найпоширеніші методи утилізації фармацевтичних відходів включають термічні процеси (високотемпературне спалювання, автоклавування, оброблення парою, газифікація та піроліз, плазмова газифікація), хімічні процеси (нейтралізацію чи обробку хімічними речовинами), процеси опромінення (іонізуюче – γ -промені, рентгенівське та ультрафіолетове опромінення, мікрохвильова обробка) та інші методи обробки і утилізації (захоронення на спеціалізованих полігонах, переробку та повторне використання). Ці методи застосовуються залежно від типу відходів, їхнього хімічного складу, рівня небезпеки та вимог законодавства [1].

Високотемпературне спалювання є одним із найпоширеніших методів утилізації фармацевтичних відходів, особливо для токсикологічно та інфекційно небезпечних відходів (цитотоксичні препарати, антибіотики, прострочені ліки, забруднені біологічні матеріали). Цей метод передбачає спалювання відходів у спеціалізованих печах при температурах від 800 до 1200

°C, а для деяких категорій відходів, таких як цитостатики, – до 1400 °C. Високі температури забезпечують повне знищення активних фармацевтичних інгредієнтів, патогенів і токсичних сполук, а сучасні системи очищення викидів (наприклад, скрубери, електрофільтри) мінімізують викиди діоксинів, фуранів і інших шкідливих токсикантів у атмосферу. Переваги методу: висока ефективність, зменшення обсягу відходів до 90–95% та можливість використання залишкової енергії. Однак метод має недоліки: високу вартість обладнання та експлуатації, необхідність суворого контролю викидів і ризик утворення токсичних побічних продуктів при недостатньо високих температурах чи неналежному очищенні газів. В Україні високотемпературне спалювання застосовується на спеціалізованих підприємствах, але кількість таких установ обмежена, а їхні послуги є дорогими, що ускладнює доступ для малих медичних закладів і аптек. Крім того, брак сучасних систем очищення викидів на деяких підприємствах створює екологічні ризики.

Автоклавування є поширеним методом утилізації інфекційно небезпечних відходів, таких як використані шприци, системи для інфузій, бинти чи ватні тампони, забруднені біологічними рідинами. Цей метод передбачає обробку відходів парою під високим тиском і температурою (зазвичай 121–134 °C) у спеціальних автоклавах, що знищує патогенні мікроорганізми. Після автоклавування відходи втрачають інфекційну небезпеку і можуть бути утилізовані як звичайні побутові відходи або передані на подальшу переробку. Автоклавування широко застосовується в медичних закладах для обробки відходів категорії В. Перевагами методу є його відносна простота, доступність і низька собівартість порівняно зі спалюванням, а також відсутність шкідливих викидів у атмосферу. Однак автоклавування не знищує хімічно активні чи токсичні компоненти, тому не підходить для відходів, що містять цитостатики чи інші небезпечні речовини. Крім того, автоклавовані відходи все ще потребують правильного захоронення чи переробки, щоб уникнути забруднення довкілля. В Україні автоклави є в багатьох великих лікарнях, але

їхнє використання обмежене в невеликих медичних закладах через високу вартість обладнання та потребу в регулярному технічному обслуговуванні.

Хімічна нейтралізація використовується для знешкодження фармацевтичних відходів, що містять хімічно активні або токсичні речовини, такі як залишки реактивів, активні фармацевтичні інгредієнти чи відходи лабораторних досліджень. Цей метод полягає у використанні хімічних реагентів (кислот, лугів, окисників) для нейтралізації небезпечних компонентів відходів, перетворення їх у менш токсичні або нетоксичні сполуки. Наприклад, кислотні відходи можуть нейтралізуватися лугами, а органічні сполуки – окислюватися до безпечних продуктів, таких як вуглекислий газ і вода. Хімічна нейтралізація часто застосовується для рідких відходів, таких як розчини, використані у виробництві чи лабораторних дослідженнях. Метод ефективний для відходів із відомим хімічним складом, таких як промислові відходи чи залишки експериментальних препаратів. Його переваги включають можливість обробки відходів на місці (в лабораторіях чи на підприємствах), відносно низьку вартість порівняно зі спалюванням і зменшення ризику викидів у довкілля. Однак хімічна нейтралізація має обмеження: вона не підходить для всіх типів відходів, особливо для твердих чи біологічно забруднених матеріалів, і потребує точного знання складу відходів для вибору правильних реагентів. Неправильне застосування може призвести до утворення нових токсичних сполук. В Україні хімічна нейтралізація використовується переважно в науково-дослідних установах і великих фармацевтичних підприємствах, але її застосування обмежене через брак кваліфікованого персоналу та обладнання.

Захоронення на спеціалізованих полігонах застосовується для утилізації певних категорій фармацевтичних відходів, які не можуть бути перероблені чи знешкоджені іншими методами, наприклад, для золи, що залишається після спалювання, або для нетоксичних побутових відходів фармацевтичних підприємств (папір, пластик, картон). Спеціалізовані полігони для небезпечних відходів обладнані системами ізоляції, щоб запобігти просочуванню токсичних

речовин у ґрунт чи підземні води. Цей метод є ефективним для відходів із низьким рівнем небезпеки, але його застосування для фармацевтичних відходів обмежене через високий ризик забруднення довкілля при неналежному облаштуванні полігонів. Перевагами захоронення є відносна простота та низька собівартість, однак недоліки включають потребу у великій площі землі, довгостроковий вплив на довкілля та ризик витоку токсичних речовин. В Україні спеціалізованих полігонів для фармацевтичних відходів недостатньо, а більшість звалищ не відповідає сучасним екологічним стандартам, що створює ризик забруднення ґрунтів і вод.

Переробка застосовується до менш небезпечних фармацевтичних відходів, таких як пакувальні матеріали (скляні флакони, пластикові контейнери, картон, метал), а також до побутових відходів фармацевтичних підприємств. Цей метод передбачає сортування, очищення та повторне використання матеріалів для виробництва нових продуктів. Наприклад, скляні ампули та флакони можуть бути переплавлені для створення нових скляних виробів, а пластикові контейнери – перероблені у гранули для виготовлення нових пластикових виробів. Папір і картон можуть бути використані для виробництва вторинної паперової продукції. Переробка є екологічно вигідним методом, оскільки зменшує обсяг відходів, що направляються на захоронення, та економить природні ресурси. Однак її застосування для фармацевтичних відходів обмежене через складність очищення матеріалів від залишків ліків і потребу в ретельному сортуванні. Крім того, не всі типи пластику чи скла, що використовуються у фармацевтичній промисловості, придатні для переробки через їхній склад чи забруднення. В Україні переробка фармацевтичних відходів розвинена слабо через брак інфраструктури для сортування та переробки, а також низьку обізнаність населення та підприємств щодо важливості рециклінгу.

Сучасні альтернативні технології, такі як плазмова газифікація та мікрохвильова обробка, набувають популярності для утилізації фармацевтичних відходів, особливо в розвинених країнах. Плазмова

газифікація передбачає обробку відходів у плазмовому реакторі при температурах до 10 000 °С, що забезпечує повне розкладання органічних і неорганічних сполук на газоподібні продукти та інертний шлак [2]. Мікрохвильова обробка використовує електромагнітне випромінювання для нагрівання та знезараження відходів, що є ефективним для інфекційно небезпечних матеріалів. Перевагами цих методів є висока ефективність, мінімальний вплив на довкілля та можливість обробки широкого спектру відходів. Однак вони мають високу вартість обладнання та експлуатації, що обмежує їхнє застосування в Україні. Наразі такі технології в Україні майже не використовуються через брак фінансування та технологічної бази, але вони можуть стати перспективними в майбутньому.

Утилізація фармацевтичних відходів є складним і багатогранним процесом, що потребує застосування різних методів залежно від типу відходів і їхньої небезпеки. Основними викликами в Україні залишаються брак інфраструктури, недостатнє фінансування, низька обізнаність населення, а також обмежена кількість ліцензованих організацій для утилізації. Для вдосконалення системи утилізації необхідно розвивати інфраструктуру, запроваджувати сучасні технології, посилювати контроль за дотриманням законодавства та підвищувати екологічну свідомість.

Використані джерела:

1. Попович, О. Р., Вронська, Н. Ю., Ятчишин, Ю. Й., Мальований, М. С. (2020). Проблеми утилізації відходів фармацевтичної галузі (огляд). *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 3(1), 175-183.
2. Ващенко, В., Кордуба, І., Махмуд, Х. Н., Негода, Н. (2024). Технологічні та екологічні особливості установок для плазмохімічного піролізу медичних відходів. *Техніка будівництва*, (40), 93-108.

УДК 676.2+676.25

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF SANITARY AND HYGIENE PRODUCTS ON A PAPER MACHINE

master's student Lyzak G.V., postgraduate student Storozhuk O.S.,

professor Barbash V.A.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *A modern equipment for the forming, pressing and drying parts of a paper machine for the production of sanitary and hygienic paper is proposed. The introduction of this equipment will significantly increase production productivity, improve product quality and reduce specific energy consumption due to more effective dehydration in the pressing and drying parts.*

KEYWORDS: PAPER, FORMING, PRESSING, DRYING, PAPER MACHINE

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА САНІТАРНО- ГІГІЄНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ПАПЕРОРОБНІЙ МАШИНИ

магістрант Лизак Г.В., аспірант Сторожук О.С., професор Барбаш В.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. Запропоновано сучасне обладнання формуючої, пресової і сушильної частин папероробної машини (ПРМ) для виробництва санітарно-гігієнічного паперу, впровадження якого дозволить суттєво підвищити продуктивність виробництва, покращити якість продукції та знизити питомі енерговитрати завдяки більш ефективному зневодненню у пресовій і сушильній частинах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПАПІР, ФОРМУВАННЯ, ПРЕСУВАННЯ, СУШІННЯ, ПРМ

Nowadays, due to increasing requirements for efficiency and energy saving, there is a steady trend towards increasing the speed of paper machines (PMs) and modernizing their equipment [1]. The existing PRs at Ukrainian enterprises are, as a rule, outdated and limited to a maximum speed of about 600–700 m/min with a web width of up to 2.5 m. To eliminate this limitation, it is proposed to use a modern high-speed PRM from **ANDRITZ PrimeLine COMPACT M1600** (Fig. 1) for the production of sanitary and hygienic products, which is capable of operating at speeds up to 1600 m/min [2, 3].



Figure 1 – PM ANDRITZ GROUP company model Prime Line COMPACT [3]

The PrimeLine COMPACT line of PMs is focused on compact layout using standardized components and sizes, which simplifies installation and reduces the time to enter the operating mode. According to the technical documentation [2, 3], such machines are designed for stable operation in the high-speed range while maintaining the quality indicators of the fabric, and also provide for the integration of clothing

tension control systems and the reduction of secondary moistening at the pressing stage.

In the world practice of modernization of paper machines for the production of sanitary and hygienic products, the emphasis is on combining high speeds with energy-saving solutions that reduce specific heat and electricity consumption without compromising quality. Analytical reviews of the industry indicate that the competitiveness of enterprises today is determined not only by productivity, but also by the integration of technologies for controlling humidity and paper profile along the width, heat recovery systems, and safe operation at elevated pressures and temperatures [1]. For the operation of PMs at speeds above 1500 m/min and improving the quality of web formation, it is advisable to use the **Crescent Former technology** (Fig. 2), in which the web is formed between the mesh and the cloth on the forming shaft.

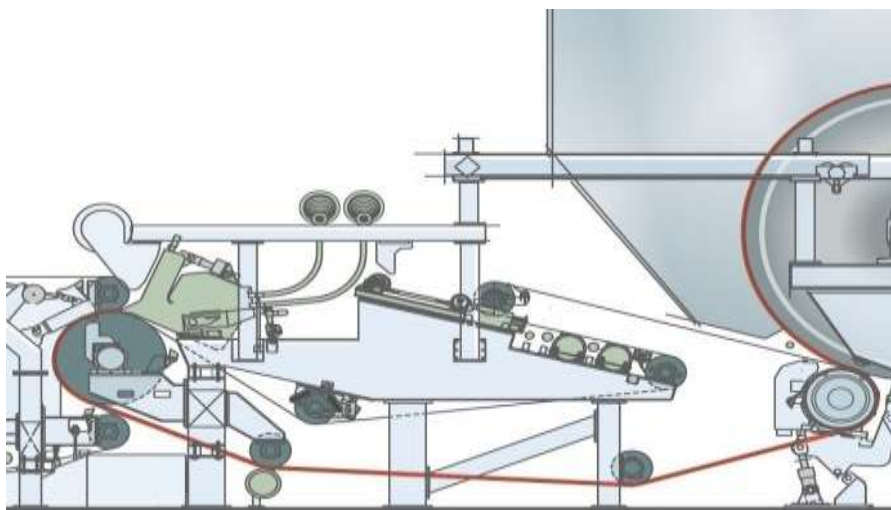


Figure 2 – Diagram of Crescent Former forming unit [4]

That gives intense process of dehydration, paper web stabilization on a high-speed and higher quality of paper structure. [4].

To increase the dryness of the web and reduce the heat load on the drying process, it is proposed to install the **PrimePress XT Evo shoe press** (Fig. 3). The extended contact area of the press allows for delicate but intensive removal of water with achieving a dryness of the web of up to 45% [2, 3], and the specific heat

consumption for drying is also reduced due to the increase in dryness after the press (as is known, a 1% increase in the dryness of the web gives about 4% heat savings) [5, 6].

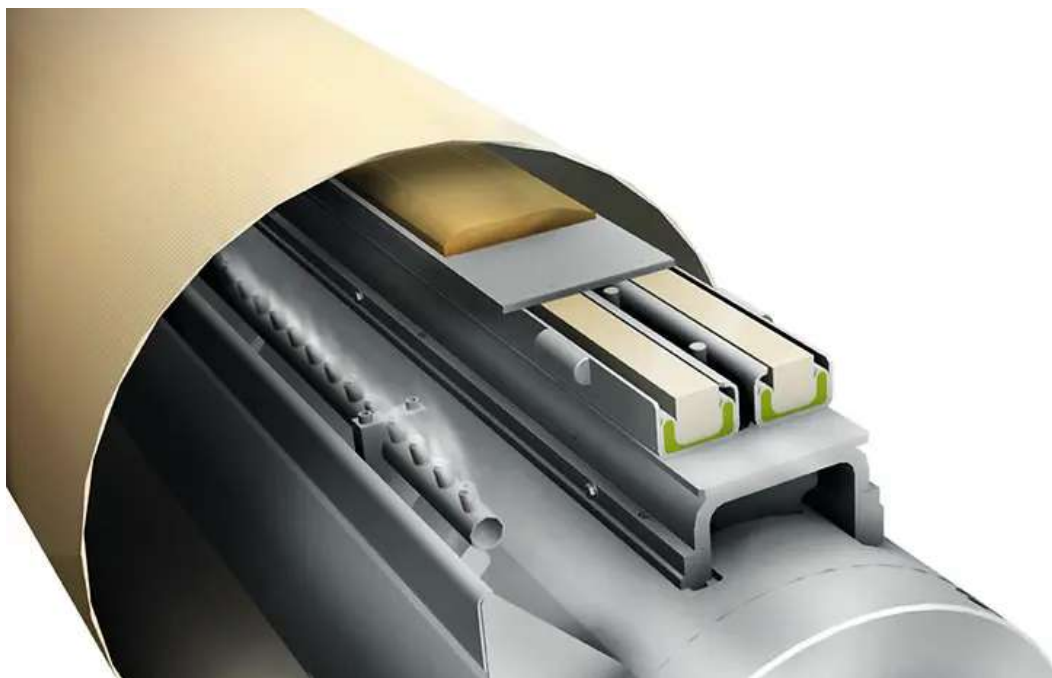


Figure 3 – Shoe press model Prime Press XT Evo [5]

In order to modernize the drying part of the PM, it is also proposed to install a large steel *Yankee cylinder with a highly efficient PrimeDry cap* (Fig. 4), which operates with heat recovery of air flows.



Figure 4 - Yankee cylinder with the PrimeDry cap [7]

Increased diameter and effective ventilation of Yankee cylinder provides intense drying process with less steam consumption while maintaining stable quality of product on the high-speed [2, 7]. The Yankee cylinder from steel has much higher thermal conductivity and better strength's characteristics compared with traditional cast-iron cylinder, which are important for safety work under the high pressures. The high temperature caps Prime Dry realize intense drying with air flow heat recuperation from ventilation system, that reduces the specific energy losses while saving or increasing productivity. The air flow automatic control drive unit keeps the process parameter's stability and final product's quality [2, 7].

The expected technical and economic result from the complex decision's implementation - Paper production machine ANDRITZ Group company model Prime Line COMPACT + forming unit type Crescent Former + shoe type press unit model Prime Press XT Evo + steel Yankee cylinder with heating drying cap Prime Dry - is an productivity due to increased speed and web width grow as well leads to a decrease in specific energy losses because of higher dryness of the web after pressing unit and heat recuperating usage in drying process. The additional benefit due to web-size stability is reduction of the defect amounts, more predictable equipment operation [4–7].

Thus, the comprehensive modernization of three key sections of the PM – forming, pressing and drying – provides a significant increase in productivity, quality and energy efficiency of sanitary and hygienic paper production.

References:

1 Martin J., Haggith M. The State of the Global Paper Industry 2018. Environmental Paper Network, 2018. URL: https://environmentalpaper.org/wp-content/uploads/2018/04/StateOfTheGlobalPaperIndustry2018_FullReport-Final-1.pdf.

2 ANDRITZ AG. Prime Line tissue machines: Product technical data. URL: <https://www.andritz.com/resource/blob/438330/048c9a1869abbcf263ef0eff70245c94/andritz-primeline-tissue-machines-data.pdf>.

3 ANDRITZ. Prime Line tissue machines – product overview. URL: <https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/paper-production/tissue-machines/primeline-tissue-machines>.

4 Tissue Story. Crescent Former or Conventional Tissue Machine Technology? 2017. URL: <https://www.tissuestory.com/2017/09/09/crescent-former-or-conventional-tissue-machine-technology>.

5 ANDRITZ. PrimePress XT Evo – shoe press for tissue production. URL: <https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/paper-production/tissue-machines/primepress-xt-shoe-press>.

6 Quadri R. Saving energy in the drying phase: the advantages of the shoe press. Paper Industry World, 2017. URL: <https://www.paperindustryworld.com/saving-energy-drying-phase-advantages-shoe-press>.

7 ANDRITZ. To supply high-temperature Yankee hood and air system to Kartogroup, Spain (Newsroom, 2023-12-20). URL: <https://www.andritz.com/newsroom-en/pulp-paper/2023-12-20kartogrouppgroup>.

UDC 676

IMPROVING MOISTURE RESISTANCE IN PACKAGING CARDBOARD

Student Iryna Koval¹, PhD Student Yevhenii Mukalo¹, Assoc. Prof. Vita Halysh^{1,2}

¹ – Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

² – Chuiko Institute of Surface Chemistry of NASU

ABSTRACT: *This study investigates the moisture resistance of packaging cardboard and explores methods to enhance its water barrier properties. The possibility of applying additional chemical reagents, specifically carboxymethyl cellulose (CMC) and chitosan, as coatings on cardboard, was examined. The results demonstrate that these coatings can significantly improve the moisture resistance of packaging cardboard, providing it with enhanced water repellency.*

KEY WORDS: CARDBOARD, MOISTURE RESISTANCE, CHEMICALS, COATING

ПОКРАЩЕННЯ ВОЛОГОСТІЙКОСТІ ПАКУВАЛЬНОГО КАРТОНУ

Студент Ірина Коваль¹, аспірант Євгеній Мукало¹, доцент Віта Галиш^{1,2}

¹ – КПІ ім. Ігоря Сікорського,

² – Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка, НАНУ

АНОТАЦІЯ: *У межах даного дослідження проведено оцінку вологостійкості пакувального картону та визначено ефективні способи покращення його водозахисних властивостей. Було розглянуто можливість застосування додаткових хімічних реагентів, зокрема карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та хітозану, як покриттів на картоні. Результати показують, що ці покриття можуть значно покращити вологостійкість пакувального картону, забезпечуючи йому підвищену водовідштовхувальну здатність.*

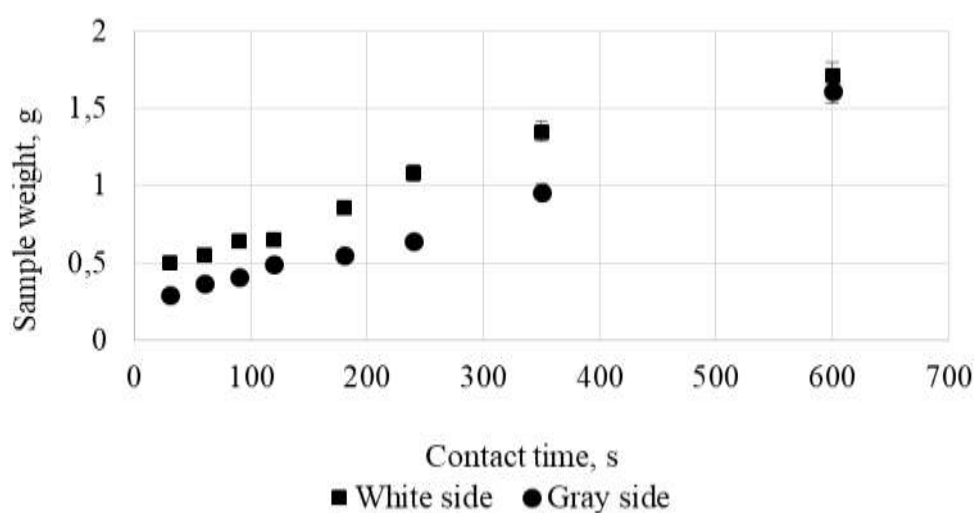
КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАРТОН, ВОЛОГОСТІЙКІСТЬ, ХІМІКАТИ, ПОКРИТТЯ

Packaging cardboard is widely used in various industries due to its lightweight, cost-effectiveness, and recyclability. However, its susceptibility to

moisture limits its performance, especially in applications where water resistance is crucial. Enhancing the moisture resistance of cardboard is therefore an important challenge in materials science and packaging technology [1].

Recent studies have explored the use of chemical coatings to improve the water barrier properties of paper-based materials. Among these, carboxymethyl cellulose (CMC) and chitosan have shown considerable potential due to their film-forming ability, biodegradability, and non-toxicity. These biopolymers can be applied as surface coatings to create a protective layer, reducing water penetration and increasing the overall durability of the cardboard [2, 3].

This study aims to investigate the effectiveness of CMC and chitosan as coatings for packaging cardboard, evaluating their ability to enhance moisture resistance and provide additional water repellency. A cardboard with a bleached surface layer and a basis weight of 230 g/m² was used as the initial material for testing. The water absorption capacity of the cardboard was evaluated on both sides by measuring the increase in sample mass during contact with water. The result is shown in Fig. 1.



The data indicate that the bleached side of the cardboard absorbs water more readily than the grey side. This is likely due to the formation of the cardboard layers: the layer made from recycled pulp contains more fillers and sizing agents than the

layer formed from bleached cellulose, resulting in lower water absorption on the grey side.

Application of 1% carboxymethyl cellulose (CMC) solution, 1% chitosan solution in 4% acetic acid, and their sequential combined application on the cardboard surface resulted in a noticeable reduction of the water absorption capacity of the cardboard. These treatments effectively improved the surface water resistance of the samples.

The maximum improvement in water resistance was achieved with the application of the chitosan solution. This effect is likely associated with the formation of a uniform, dense biopolymer layer on the cardboard surface, which effectively limits water penetration. Chitosan improves the water resistance of cardboard primarily due to its ability to form a uniform, dense, and cohesive film on the surface. This biopolymer contains amino and hydroxyl groups that can form hydrogen bonds with cellulose fibers, creating a strong network that physically blocks water from penetrating the material. Additionally, the film reduces the porosity of the cardboard surface, limiting capillary absorption and slowing down moisture ingress. The combination of these effects results in a significant enhancement of the surface water repellency and overall moisture resistance of the cardboard.

This approach shows great potential for producing more durable and moisture-resistant packaging cardboard using environmentally friendly biopolymer coatings.

References:

1. Marinelli, A., Diamanti, M. V., Lucotti, A., Peddeferri, M. P., & Del Curto, B. (2021). Evaluation of coatings to improve the durability and water-barrier properties of corrugated cardboard. *Coatings*, 12(1), 10.
2. de Fátima Silva, M., Maciel, V. B. V., Noletto, A. P. R., Venturini, A. C., de Carvalho, R. A., & Yoshida, C. M. P. (2022). Chitosan active coating on

paperboard surface forming an anti-insect grain-based food packaging. Packaging Technology and Science, 35(4), 361-372.

3. Ahmad, N. I., & Main, N. M. (2024). Evaluation of Old Corrugated Container (OCC) by Blending with Carboxymethyl Cellulose (CMC) and Amphoteric Polyacrylamide (aPAM). Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering, 5(2), 117-129.

UDC 676

PRETREATMENT OF WALNUT SHELLS AND APRICOT KERNELS FOR POLYSACCHARIDE ISOLATION

Student Daniil Dragan, Assoc. Prof. Vita Halysh

¹ – Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

² – Chuiko Institute of Surface Chemistry of NASU

ABSTRACT: *This paper presents a simple and efficient pretreatment approach for walnut shell and apricot kernels biomass to enable their subsequent conversion into second-generation bioethanol. The study evaluates two pretreatment strategies aimed at disrupting the lignocellulosic matrix and increasing polysaccharide accessibility.*

KEY WORDS: SHELLS, CELLULOSE, LIGNIN, SUBSTRATE

РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ З МАКУЛАТУРИ

Студент Данііл Драган, доцент Віта Галиш

¹ – КПІ ім. Ігоря Сікорського,

² – Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка, НАНУ

АНОТАЦІЯ: *У цій статті представлено простий та ефективний підхід до попередньої обробки біомаси шкаралупи волоських горіхів та кісточок абрикоса для забезпечення їх подальшого перетворення на біоетанол другого покоління. У дослідженні оцінюються дві стратегії попередньої обробки, спрямовані на руйнування лігноцелюлозної матриці та підвищення доступності полісахаридів.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ШКАРАЛУПИ, ЦЕЛЮЛОЗА, ЛІГНІН, СУБСТРАТ

The growing global demand for sustainable and renewable energy sources has intensified interest in the production of second-generation biofuels. Unlike first-generation biofuels, which rely on food-grade raw materials, second-generation

biofuels are derived from lignocellulosic agricultural residues and non-edible biomass [1]. Among the various types of biomass suitable for bioethanol production, agricultural residues represent an abundant and underutilized resource [2]. Walnut shells and apricot kernel, generated in significant quantities by the agro-industrial sector, are rich in polysaccharides which can be converted into fermentable sugars through appropriate pretreatment. Utilizing these residues not only offers an effective waste-management strategy but also contributes to a circular bioeconomy by transforming low-value by-products into high-value renewable energy.

Therefore, the development of efficient and simple pretreatment methods for walnut shells and apricot pits is essential for enhancing the accessibility of their polysaccharide components and improving the overall efficiency of second-generation bioethanol production. The purpose of the work is to evaluate the efficiency of acid hydrolysis and alkaline treatment methods, determine their impact on biomass structure. For the biomass samples examined, the efficiency of acid and alkaline pretreatments varied slightly, which can be attributed to their initial chemical composition (Fig. 1). Apricot shells exhibited a higher lignin content and therefore showed lower susceptibility to chemical action by the reagents.

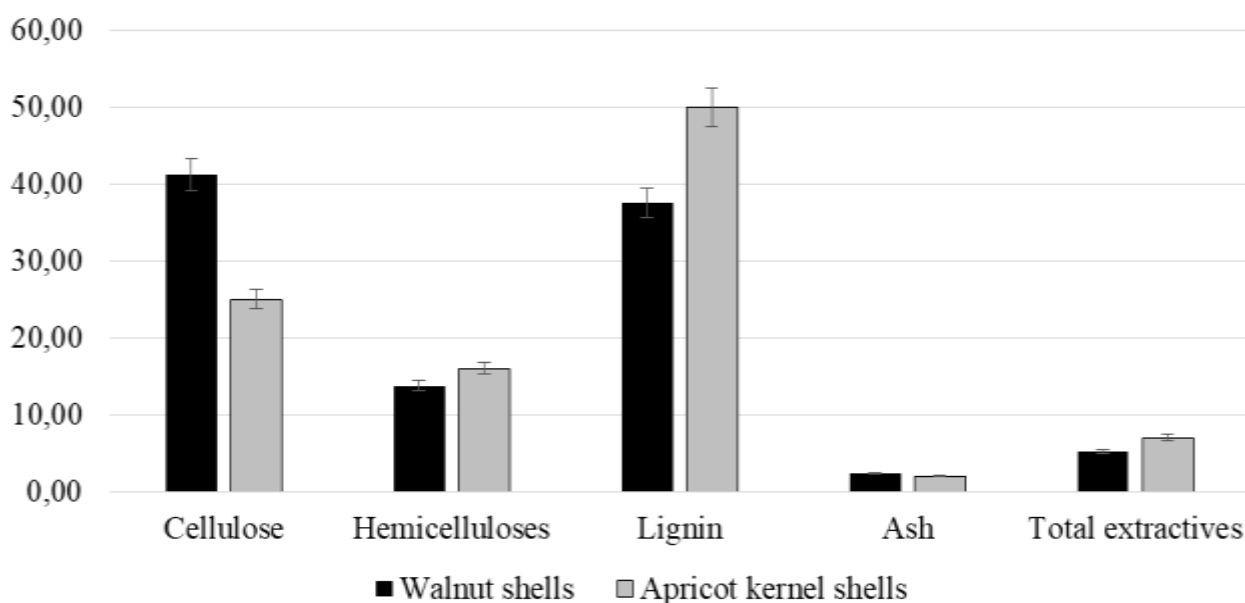


Figure 1 – Chemical composition of walnut shells and apricot kernel shells.

Pretreating apricot seed shells and walnut shells with 1% H₂SO₄ at 180 °C resulted in weight losses of 37.5% and 50.4%, respectively, indicating substantial removal of hemicellulosic components. The substrate obtained after this acid treatment were enriched in lignin, suggesting that the lignocellulosic structure became more recalcitrant due to the relative increase in lignin content. Subsequent alkali pretreatment of the same materials using 15% NaOH at 180 °C led to much higher mass losses, measuring 76.8% for apricot seed shells and 79.5% for walnut shells. These losses were primarily associated with extensive delignification, as the alkaline conditions effectively broke down lignin and solubilized a significant portion of it. Consequently, the lignin content in the treated solids decreased approximately sixfold for apricot seed shells and threefold for walnut shells compared to the untreated raw materials. Analysis of the solids after alkaline pretreatment revealed a high cellulose content, reflecting the selective removal of lignin and hemicellulose. Given this composition, it is expected that the cellulose present in these pretreated solids will be most efficiently hydrolyzed to glucose, highlighting the potential of alkaline pretreatment to enhance the enzymatic digestibility of these lignocellulosic residues.

Therefore, acid pretreatment facilitates partial hydrolysis of hemicelluloses, while alkaline treatment promotes lignin removal and structural swelling of the biomass. The effectiveness of both methods is assessed in terms of polysaccharide release, structural modification, and suitability for further enzymatic saccharification and fermentation. The proposed pretreatment approaches offer a cost-effective pathway for upgrading agricultural waste into valuable biofuels, contributing to sustainable resource utilization and circular bioeconomy development.

References:

1. Pant, R., Gupta, A., Pant, G., Chaubey, K. K., Kumar, G., & Patrick, N. (2023). Second-generation biofuels: Facts and future. In Relationship Between

Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services (pp. 97-115). Elsevier.

2. Halysh, V., Trus, I., Yashchenko, O., et al. (2025). From plant waste to substrate for second-generation biofuels. Ecological Engineering & Environmental Technology, 26(11).

**СЕКЦІЯ 3
«ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

УДК 678.023

МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ БІОПОЛІМЕРІВ ТИПУ PLA

А.Ю. Абаєв, М.П. Швед

Національний технічний університет України «КПІ»

03056, Київ, пр. Берестейський, 37, корп 19

У сучасному хімічному машинобудуванні особлива увага приділяється створенню енергоефективного, надійного та технологічно-гнучкого обладнання для перероблення полімерних матеріалів, зокрема біорозкладних термопластів. Одним із ключових елементів екструзійних ліній є шестеренний насос [1], який забезпечує стабільну подачу полімерного розплаву до формувального вузла.

При роботі з високо-в'язкими біополімерами типу полілактиду (PLA) або сополімерів РВАТ, РНА, традиційні конструкції насосів мають обмеження [2] — виникають локальні застійні зони, перегрів розплаву, пульсації тиску та зниження гомогенності потоку. Це погіршує якість готової плівки та зменшує ресурс роботи насоса.

Метою дослідження є підвищення ефективності роботи шестеренного насоса за рахунок удосконалення геометрії вхідної зони, що забезпечує швидке, стабільне й рівномірне заповнення міжзубцевих порожнин полімерним розплавом.

В основу модернізації покладено задачу вдосконалити шестеренний насос для полімерного розплаву, у якому нова геометрія вхідної зони сприяє рівномірному розподілу потоку по ширині шестерень.

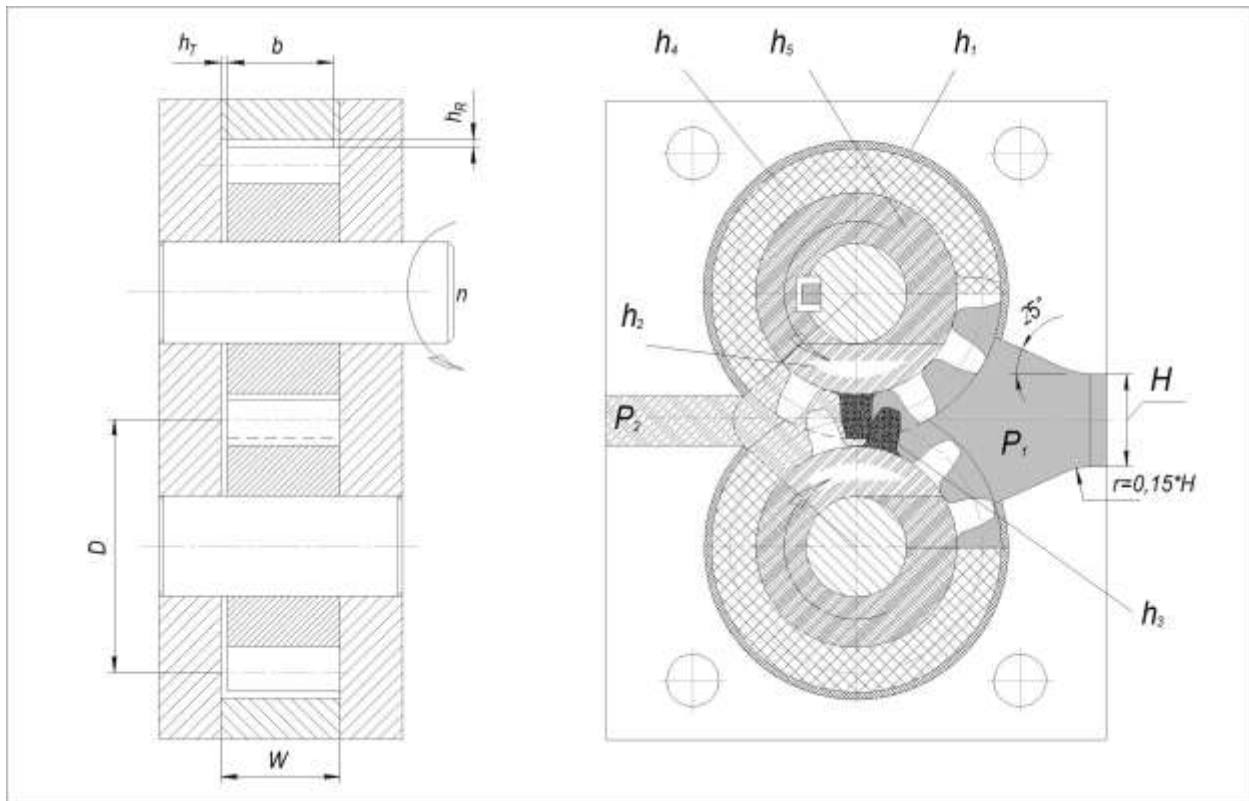
Під час експлуатації класичного насоса з круглим вхідним отвором спостерігаються нерівномірні гідродинамічні поля та локальні зони застою. Для їх усунення запропоновано конструктивне рішення, що включає:

- геометрію вхідного отвору змінено з круглого на прямокутний із заокругленими кутами;
- верхню та нижню стінки каналу виконано з нахилом 25° до дотичної осі шестерень, що забезпечує рівномірний розподіл потоку по ширині;
- вхідна частина має плавне радіусне розширення (типу bell-mouth), аналогічне дифузору Вентурі, яке зменшує гідравлічні втрати та покращує заповнення міжзубцевих порожнин.
- для уникнення налипання біополімерів поверхні каналу поліруються до $Ra \leq 0,4$ мкм і покриваються антипригарним шаром Ni-PTFE або DLC.

Сутність модернізації показана на рисунку 1, на якому зображено поздовжній розріз шестеренного насоса.

Для оцінки впливу модернізованої конструкції корпусу й вхідної/вихідної зони шестеренного насоса доцільно застосувати методи CFD-моделювання, які дозволяють відтворити картину течії в міжзубцевих порожнинах, зони рециркуляції, розподіл тиску та швидкостей без виконання дорогавартісних експериментів.

CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics) ґрунтується на числовому розв'язанні системи рівнянь нерозривності та збереження імпульсу для в'язкої нестисливої рідини. Для розрахунків використано програмний комплекс SolidWorks Flow Simulation, який реалізує метод скінченних об'ємів. Область розрахунку розбивається на сукупність контрольних об'ємів (елементів сітки), для кожного з яких інтегральна форма рівнянь Нав'є–Стокса апроксимується алгебраїчними співвідношеннями. В результаті формується система лінійних рівнянь відносно тиску та компонент швидкості, яка розв'язується ітераційними методами до досягнення збіжності.



h_1 – перша зона радіальних зазорів; h_2 – друга зона торцевих зазорів; h_3 – третя зона торцевих зазорів; h_4 – четверта зона торцевих зазорів; h_5 – п'ята зона торцевих зазорів; P_1 – зона низького тиску; P_2 – зона високого тиску

Рисунок 1 – Конструктивна схема модернізованого шестеренного насоса

Геометричні параметри модернізованого вузла

- Ширина каналу: $W = b - 1 \dots 2$ мм, де b — ширина шестерень.
- Висота каналу: $H = 0,35 \dots 0,55 D$, де D — міжосьовий діаметр.
- Радіус заокруглення кутів: $r = 0,15 \dots 0,25 H$.
- Кут розкриття bell-mouth: $20^\circ \pm 5^\circ$.
- Довжина плавного переходу: $1,2 \dots 1,5 H$.

Геометрію насоса побудовано в середовищі **SolidWorks** на основі робочих креслень. Модель включає:

- корпус із входним і вихідним каналами;

- два співвісні зубчасті колеса (ведуче та ведене);
- вали, що задають обертальний рух шестерень;
- об'єм робочої рідини в міжзубцевих порожнинах та каналах.

Для CFD-аналізу створено обчислювальну область рідини шляхом виконання операції «Виключення твердих тіл» (тіло шестерень задаються як стінки, а розрахунок ведеться в порожнинах між ними). Як робочу рідину прийнято ньютонівську рідину з заданими густиною та динамічною в'язкістю, що відповідають умовам перекачування біополімера. Шестерні задавались як обертові тіла з фіксованою кутовою швидкістю, що відповідає номінальній частоті обертання насоса. Стінки корпусу та кришок – умова «no-slip» (відсутність просковзування).

Результати та їх обговорення

На основі CFD-розрахунку отримано просторові поля швидкості та тиску в об'ємі насоса для базової та модернізованої конструкцій. Результати показані на рисунках 2 та 3. Візуалізація показала, що:

- у базовому варіанті (рисунок 2) в зоні входу в міжзубцеві порожнини присутні розвинені зони рециркуляції, спостерігається відрив потоку від стінки та неоднорідне заповнення об'єму між зубцями;
- у модернізованому варіанті (рисунок 3) завдяки плавнішому підведенню та спрямуванню потоку інтенсивність рециркуляції зменшується, потік більш рівномірно заповнює міжзубцеві порожнини, зникають локальні застійні зони.

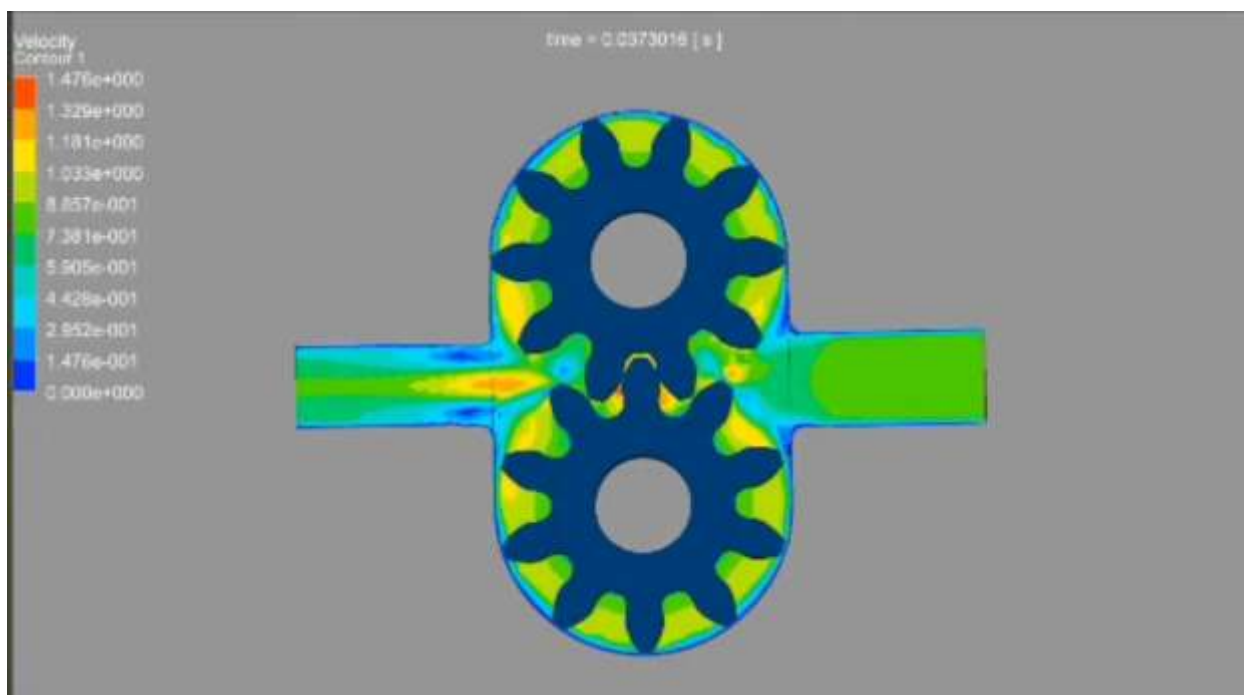


Рисунок 2 – Візуалізація потоків полімеру до модернізації

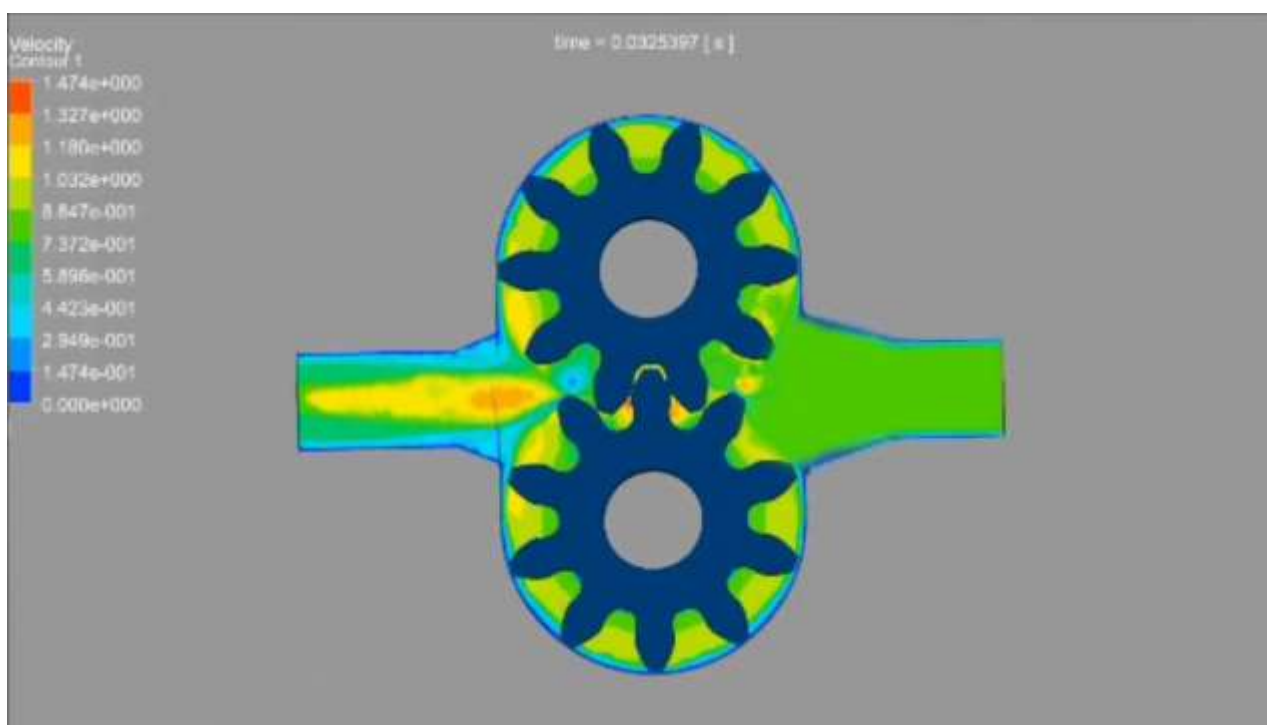


Рисунок 3 – Візуалізація потоків полімеру після модернізації

Візуалізації розподілу тиску демонструють, що у модернізованому корпусі градієнт тиску між зоною всмоктування та зоною нагнітання

розподілений рівномірніше, знижується локальне перевантаження на зубці в зоні виходу, що потенційно зменшує їх зношування.

Аналіз інтегральних характеристик показав, що:

- пульсації витрати на виході насоса зменшуються;
- втрати повного тиску в області входу й виходу знижуються завдяки покращенню обтікання;
- підвищується гідравлічний ККД насоса, що може привести до зменшення споживаної потужності приводу при забезпеченні тієї ж продуктивності.

На рисунках 2 та 3 добре видно, що швидкісні вектори в модернізованій конструкції спрямовані більш упорядковано, а поле швидкостей на виході має меншу нерівномірність.

Результати впровадження

Таблиця 1. Порівняльні випробування модернізованого насоса.

Показник	До модернізації	Після модернізації
Втрати тиску у вхідній камері	0,35 МПа	0,28 МПа
Коливання тиску перед головкою	$\pm(3-4) \%$	$\pm(1-1,5) \%$
Температурний градієнт по ширині насоса	6 °C	3 °C
Рівномірність подачі (по ширині шестерень)	$\pm(10-12) \%$	$\pm 5 \%$
Енергоспоживання приводу	—	-8 %

Отримані дані свідчать, що модернізація сприяє зниженню гідравлічних втрат, покращенню температурної стабільності розплаву та підвищенню рівномірності подачі навіть при роботі з високо-в'язкими біополімерами.

Висновки: запропонована конструкція вхідної зони шестеренного насоса забезпечує оптимізований розподіл потоку розплаву, зменшення гідравлічних

втрат і стабілізацію тиску у зоні подачі. Вдосконалення дозволяє знизити деградацію біополімерів PLA/PBAT та підвищити якість готової плівки. Розроблене рішення може бути впроваджене у промислові каскадні екструзійні лінії [3] для виготовлення біо- та фоторозкладних полімерних плівок.

Список літератури

1. Дослідження шестеренчастого насоса як нагнітального пристрою дискового екструдера для переробки полімерних матеріалів / Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, М. В. Сезонов // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2001. — № 3. — С. 136—139.
2. Keller, R., & Behrendt, N. Gear Pumps in Polymer Processing. — Hanser Publishers, Munich, 2018. — 244 p. — pp. 50—53.
3. Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., & Desobry, S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010, 9(5), pp. 552–571.

УДК 66.065.3:546.42

EVAPORATOR IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BARIUM CHLORIDE PRODUCTION

Oleksandr Nesteruk, Sergey Gulienko

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *This paper considers the importance of the evaporator in the technological process of obtaining barium chloride (BaCl_2), presents its design, principle of operation, and also describes the direction of modernization aimed at increasing the efficiency of the heat exchange process. The evaporator is one of the key elements of the technological scheme, since it is at this stage that the concentration of the BaCl_2 solution before crystallization is ensured. The planned design changes provide for improving heat exchange conditions and reducing energy costs by improving the internal structure of the heating chamber.*

KEY WORDS: EVAPORATOR, BARIUM CHLORIDE, NATURAL CIRCULATION, HEAT EXCHANGE, TURBULENT PROTRUSIONS, MODERNIZATION, ENERGY EFFICIENCY.

ВИПАРНИЙ АПАРАТ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ХЛОРИДУ БАРІЮ

студент Олександр Нестерук, к.т.н., доц. Сергій Гулієнко

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Анотація. *У даній роботі розглядається значення випарного апарата в технологічному процесі отримання хлориду барію (BaCl_2), наведено його конструкцію, принцип дії, а також описано напрямок модернізації, що спрямовується на підвищення ефективності процесу теплообміну. Випарний*

апарат є одним із ключових елементів технологічної схеми, оскільки саме на цьому етапі забезпечується концентрування розчину $BaCl_2$ перед кристалізацією. Заплановані зміни конструкції передбачають покращення умов теплообміну та зниження енергетичних витрат за рахунок удосконалення внутрішньої будови гріючої камери.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ХЛОРИД БАРІЮ, ПРИРОДНА ЦИРКУЛЯЦІЯ, ТЕПЛООБМІН, ТУРБУЛЕНТНІ ВИСТУПИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Роль випарного апарата в технологічному процесі:

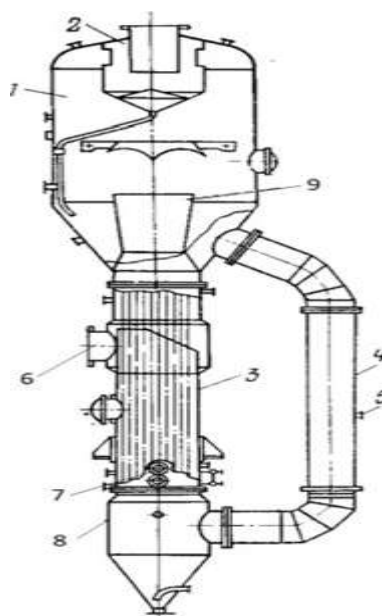
У процесі виробництва хлориду барію хлоркальцієвим способом випарний апарат виконує надзвичайно важливу функцію - він забезпечує концентрування водного розчину хлориду барію після стадій вилуговування та очищення. На цій стадії з розчину видаляється надлишкова вода, що дозволяє отримати розчин з концентрацією, необхідною для подальшої кристалізації. Таким чином, випарний апарат є ланкою, що з'єднує рідинну частину процесу з твердою фазою, і безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Схема показана на рисунку 1.

Випарний апарат працює за принципом природної циркуляції і складається з таких основних вузлів:

Сепаратор (1) - забезпечує відділення вторинної пари від рідини.

Краплевловлювач (2) - затримує краплі рідини, запобігаючи їх виносу разом із парою.

Гріюча камера (3) - головний елемент, у якому здійснюється передача тепла від гріючої пари до розчину.



1 - сепаратор; 2 - краплевловлювач; 3 - гріюча камера; 4 - циркуляційна труба; 5 - вхід початкового розчину; 6 - вхід гріючої пари; 7 - вихід конденсату; 8 - збірник твердого осаду; 9 - труба закипання.

Рисунок 1 – Схема випарного апарата

Циркуляційна труба (4) - з'єднує нижню частину апарата з гріючою камерою та забезпечує природну циркуляцію рідини.

Вхід розчину (5) - подає вихідний розчин BaCl_2 у систему.

Вхід гріючої пари (6) - подає пару у простір навколо труб для передачі тепла.

Вихід конденсату (7) - відводить пару, що віддала тепло розчину.

Збірник осаду (8) - слугує для збору твердих залишків.

Труба закипання (9) - зона, у якій рідина переходить у стан інтенсивного кипіння.

Принцип дії випарного апарату. Розчин хлориду барію надходить до гріючої камери, де через штуцер подається пара. Тепло, передане через стінки кип'ятільних труб, нагріває розчин до температури кипіння. При цьому рідина частково перетворюється на парорідинну суміш, яка завдяки меншій густині піднімається вгору у трубу закипання. Важча рідина опускається вниз по

зовнішній циркуляційній трубі, забезпечуючи природну циркуляцію без використання насосів. Пари, що утворюються, надходять у сепаратор, де відокремлюються від рідкої фази, потім проходять через краплевловлювач і відводяться далі. Концентрований розчин накопичується в нижній частині апарата, після чого подається на кристалізацію.

Модернізація апарата. Модернізація випарного апарата спрямовується на підвищення ефективності процесу теплообміну шляхом удосконалення внутрішньої будови гріючої камери (елемент 3). Зокрема, передбачається встановлення турбулентних виступів на внутрішній поверхні кип'ятильних труб. Такі виступи мають створювати турбулентний потік рідини, що розриває рідинну плівку, яка утворюється на стінках труб під час кипіння. Завдяки цьому зменшується термічний опір і підвищується інтенсивність теплообміну між гріючою парою та розчином.

Передбачається, що збільшення турбулентності потоку забезпечить рівномірніший розподіл температури в об'ємі рідини та запобігатиме утворенню застійних зон, які знижують ефективність роботи апарата.

Під час модернізації також передбачається перегляд матеріалів теплообмінних труб із метою підвищення їх стійкості до корозії та осадоутворення, що характерні для концентрованих розчинів хлориду барію. У перспективі розглядається можливість адаптації модернізованої конструкції для багатокорпусних вакуум-випарних систем, що дозволить ще більше зменшити витрати енергії на виробництво.

Завдяки впровадженню описаної модернізації очікується:

- ✓ зниження питомих енергетичних витрат;
- ✓ підвищення продуктивності випарного апарата;
- ✓ покращення гідродинаміки потоку рідини;
- ✓ зменшення утворення відкладень на внутрішніх поверхнях труб;

- ✓ збільшення стабільності та тривалості безперервної роботи установки.

Висновки. Випарний апарат у виробництві хлориду барію є критичним елементом, що визначає ефективність кінцевої стадії процесу - концентрування розчину перед кристалізацією. Модернізація апарата, яка передбачається у даній роботі, спрямовується на покращення теплообміну шляхом впровадження турбулентних виступів у гріючих трубах. Це рішення має дозволити суттєво підвищити ефективність теплопередачі, знизити енергоспоживання і покращити експлуатаційні характеристики установки.

List of links:

1. Brackbill, J.U., Kothe, D.B., Zemach, C. A continuum method for modeling surface tension. *Journal of Computational Physics*, 100(2), 1992, pp. 335–354.
2. Raach, H., Mitrovic, J. Seawater falling film evaporation on vertical plates with turbulence wires. *Desalination*, 183 (2005): 307–316.
3. Кузнецов, В. І., Малахов, В. М. Процеси і апарати хімічної технології. – Київ: Вища школа, 2010. – 512 с.
4. Левченко, І. П., Ткаченко, М. М. *Теплообмінні апарати хімічних виробництв*. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – 228 с.

УДК - 661.7

МОДЕРНІЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ

студентка Вакуліна А.Д, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: : Розглянуто два патенти, які описують методи модернізації сушильного апарату, проаналізовано принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, СУШИЛЬНИЙ АПАРАТ, ВИРОБНИЦТВО АМІНОСМОЛ.

Absrtact: Two patents describing methods for modernizing a dryer were reviewed, the principle of operation was analyzed, and the advantages and disadvantages were indicated.

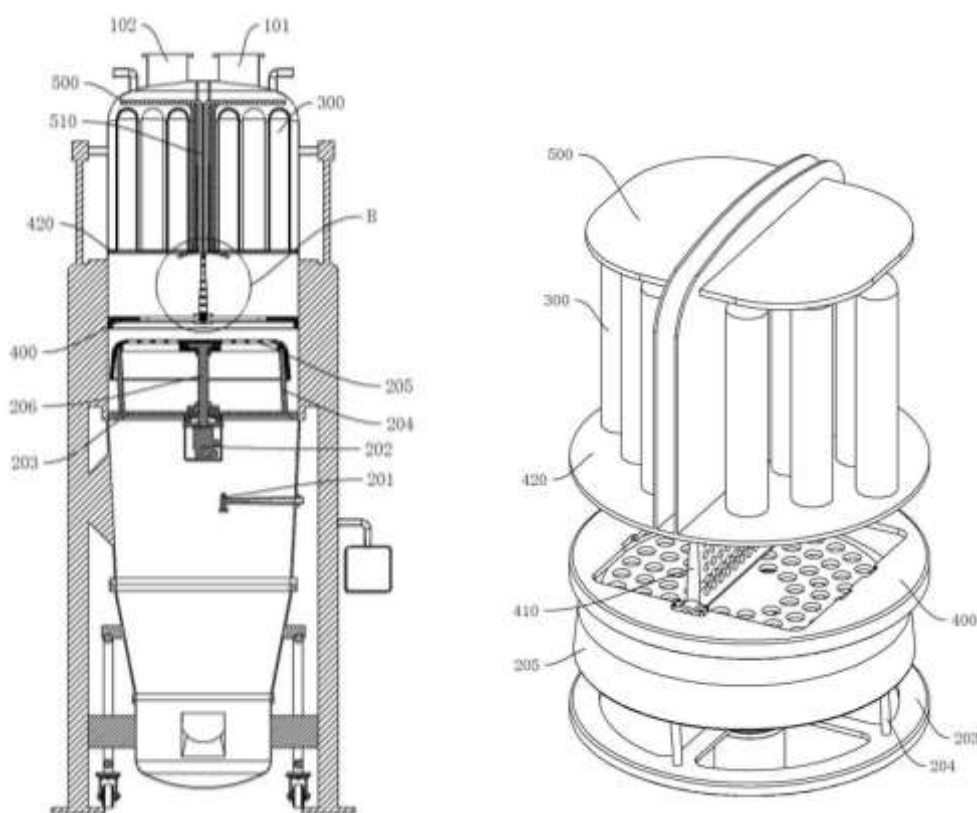
KEY WORDS: MODERNIZATION, DRYER, AMINO RESIN PRODUCTION.

Розглянемо патент CN120667890A[1], який описує сушилку-гранулятор з псевдозрідженим шаром, призначену для одночасного виконання процесів сушіння та гранулювання порошкоподібних матеріалів.

Цей апарат знаходить застосування у фармацевтичній, хімічній та харчовій промисловості для отримання гранул з заданими характеристиками. Його ключовою особливістю є інтегрована система фільтрації та подрібнення, яка забезпечує стабільність технологічного процесу. Конструкція включає сушильну камеру, розділену на фільтрувальний відсік та камеру киплячого шару, з двосторонньою фільтрувальною системою з регульованими камерами.

Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром наведена на рисунку 1.

Механізм роботи ґрунтується на динамічному регулюванні газових потоків. Під час роботи спеціальний регулюючий механізм автоматично змінює об'єм повітряних камер залежно від ступеня засмічення фільтрів, підтримуючи рівномірний тиск у камері киплячого шару. У режимі очищення відбувається почергове струшування фільтр-тканин з одночасним подрібненням відокремлених агломератів перед їх поверненням у робочу зону.



101 – перший вихідний отвір для повітря; 102 – другий вихідний отвір для повітря; 201 – розпилювач; 202 – другий двигун; 203 – кріпильна рама; 204 – гумова колона; 205 – дробильний диск; 206 – ексцентриковий вал; 300 – фільтрувальний мішок; 400 – вентиляційна пластина; 410 – обертова пластина; 420 – з'єднувальна рама; 500 – притискна пластина; 510 – штовхач;

Рисунок 3.8 – Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром [1]

Апарат, описаний у патенті, має ряд переваг, які виділяють його серед інших. Однією з ключових переваг є підвищення якості гранул через подрібнення великих агломератів, що утворюються на фільтрах під час очищення. Крім того, рівномірний розподіл газового потоку через киплячий шар забезпечує стабільність режиму псевдозрідження. Ще однією перевагою є можливість проведення відновлення фільтрів без зупинки основного процесу сушіння-гранулювання.

Однак є й певні недоліки, які варто врахувати. Серед них можна виділити значну технологічну складність конструкції, пов'язану з наявністю механізму регулювання, двох фільтрувальних блоків та подрібнювального пристрою. Підвищені експлуатаційні витрати через споживання енергії приводами також можуть збільшити собівартість експлуатації. Ще одним недоліком є необхідність регулярного технічного обслуговування через роботу апарату при високій температурі та забрудненні пилом.

Розглянемо патент CN118729691A[2], який описує пристрій для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора.

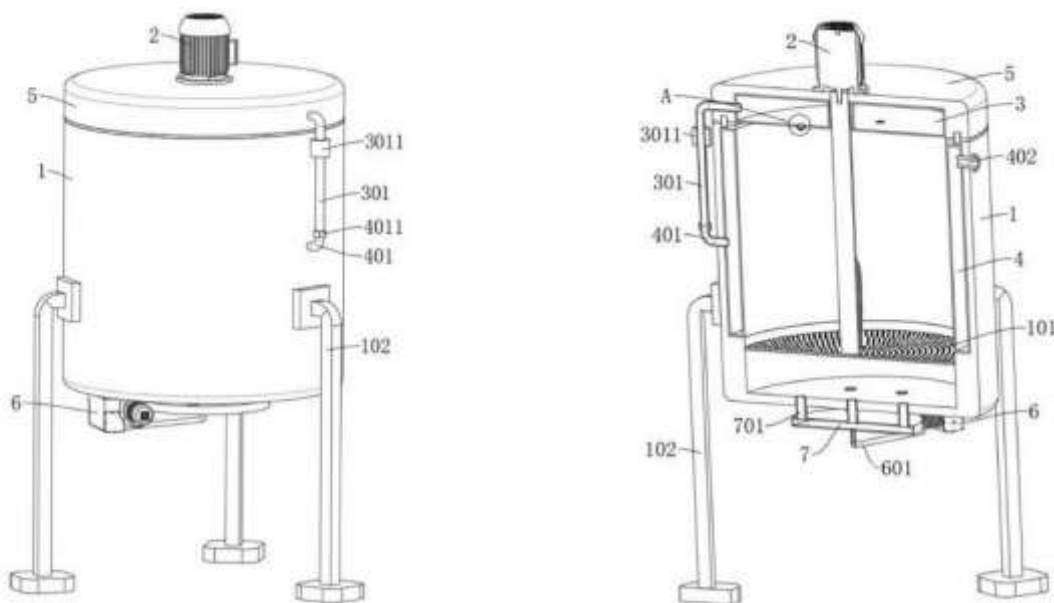
Цей пристрій призначений для термічного сушіння матеріалу пластифікатора біологічного походження в процесі його виробництва. Основна сфера застосування - технологічні лінії виробництва будівельних хімічних добавок, зокрема екологічних пластифікаторів для бетонних сумішей, де необхідно забезпечити видалення вологи з гранульованого продукту з підвищеною липкістю.

Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора зображена на рисунку 2.

Функціонування засноване на комбінації пневматичної сепарації, механічного подрібнення та конвективного тепломасообміну. Під час роботи система подачі термостабілізованого повітряного потоку забезпечує рівномірне

прогрівання матеріалу, а обертовий вал з гнучкими елементами ефективно дезінтегрує агломерати. Еластична оболонка з можливістю циклічного надування запобігає прилипанню матеріалу до стінок камери.

Переваги цієї технології полягають у ефективному подрібненні злиплих грудок матеріалу завдяки синхронній дії обертових гнучких шнурів та періодичного надування бортової повітряної подушки. Додаткове підсушування дрібних частинок у верхньому шарі шляхом використання теплоти, що виділяється при взаємодії пари з сорбентом, покращує якість готового продукту. Крім того, зменшення енерговитрат на подрібнення за рахунок попереднього аеродинамічного фракціонування матеріалу в потоці гарячого повітря робить процес більш економічним.



1 – сушильний бак; 2 – двигун; 3 – емність для матеріалу; 4 – повітряна подушка; 5 – кришка баку; 6 – насос із постійною температурою гарячого повітря; 7 – повітророзподільна плита; 101 – сітчаста плита; 102 – опорна рама; 301 – порожнина; 401 – напрямний паз; 402 – ковзуючий отвір; 3011 – клапан тиску; 4011 – з'єднувальний вузол;

Рисунок 2 – Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора [2]

Серед недоліків варто зазначити високі експлуатаційні витрати, пов'язані з підтримкою постійної температури та роботою допоміжних систем. Обмежена продуктивність для сировинних матеріалів з вологістю понад 40% через ризик вторинного злипання часток може обмежити сферу застосування апарата. Ефективність роботи також залежить від правильного підбору швидкості обертання ударних елементів, оскільки є можливість пошкодження крихких гранул при невірних налаштуваннях.

Висновок:

Проведений аналіз сучасних патентних рішень у галузі сушильних технологій дозволяє виокремити ключові тенденції, які можуть бути успішно застосовані для модернізації сушильного апарату виробництва аміносмол. Найбільший потенціал для вдосконалення полягає в інтеграції декількох технологічних операцій у єдиному апараті, що дозволяє не лише підвищити ефективність процесу, але й покращити якість кінцевого продукту.

Перелік посилань:

1. Fluidized-bed Drying and Granulation Machine : пат. CN120667890A Китай : B01D46/02; B01D46/04; B01J2/16; B02C19/00; F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202511164922A ; заявл. 08.08.2025 ; опубл. 19.09.2025. 22 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097053278/publication/CN120667890A?q=pn%3DCN120667890A>

2. Constant-temperature drying device for producing environment-friendly biological water reducing agent : пат. CN118729691A Китай : F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202411230113A ; заявл. 04.09.2024 ; опубл. 10.10.2024. 17 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/092847751/publication/CN118729691A?q=pn%3DCN118729691A>

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

бакалавр Семенов Д.П., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

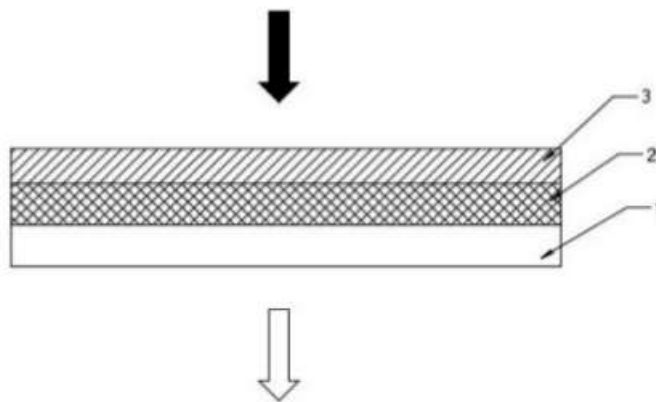
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто три патенти, які описують методи модернізації традиційного апарату зворотного осмосу. Проаналізовано їх принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, ФІЛЬТРАЦІЯ, ЗВОРОТНИЙ ОСМОС, МЕМБРАНА.

Розглянемо патент CN120132623A [1], який описує нову тришарову композитну мембрану зворотного осмосу для очищення води, зокрема для опріснення морської води (рис. 1). На відміну від традиційної двошарової мембрани, де сепараційний шар поліаміду знаходиться безпосередньо на пористій підкладці, запропонована мембрана має додатковий проміжний шар — гідрогель оксиду графену. Цей шар розміщується між нижньою опорною підкладкою та верхнім поліамідним шаром.



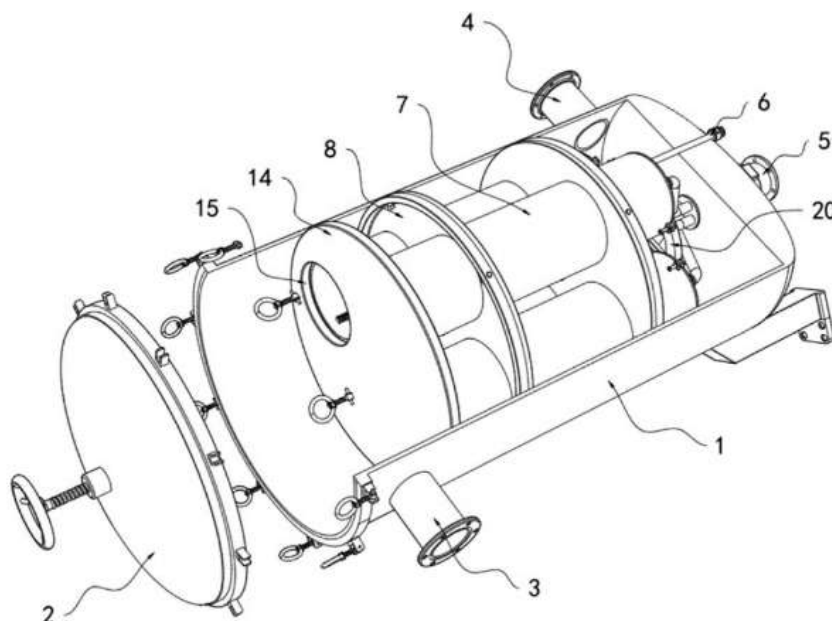
1 – Нижній шар; 2 – гідрогелевий шар; 3 – поліамідний шар.

Рисунок 1 – Будова фільтраційної мембрани.

Серед переваг запропонованої мембрани варто виділити підвищений захист до біологічного забруднення завдяки оксиду графену, що підвищує термін служби мембрани. Підвищена гідрофільність покращує потік води, що в свою чергу збільшує продуктивність. Мембрана також підвищує якість відділення солей, що було підтверджено експериментально.

Недоліками мембрани є складність виробництва через процедуру отримання оксиду графену, перетворення його на гідрогель та додаткові модифікації, що суттєво збільшує ціну виготовлення. Через використання гідроксиду калію та інших токсичних речовин, які згадуються у модифікованому методі Хуммерса, необхідно дотримуватися особливих заходів безпеки при виготовленні мембрани. Під час експерименту було виявлено, що ефективність мембрани залежить від концентрації гідрогелю оксиду графену.

Патент CN120132445A [2] описує пристрій для рекуперації для концентрованої води зворотного осмосу (рис. 2). Порівняно з традиційними системами, де фільтрація та очищення є окремими процесами, в цьому винаході пропонується система, що об'єднує ці два процеси в одному пристрої. Головною особливістю є багатоканальна фільтруюча структура, яка складається з послідовно розташованих каналів з фільтруючим матеріалом.



1. корпус бака; 2 – торцева кришка; 3 – вхідна труба; 4 – зливна труба; 5 – промивна труба; 6 – порожнина; 7 – ущільнювальне кільце; 8 – опора; 14 – вихідний отвір; 15 – головний вал; 20 – виїмка.

Рисунок 2 – Пристрій для рекуперації для концентрованої води зворотного осмосу.

Перевагами апарату є висока ефективність, що досягається шляхом поєднання процесів фільтрації та очищення. Також це досягається автоматичною системою очищення, що прибирає частину простоїв для обслуговування. Пристрій являє собою повністю автоматизовану конструкцію, що знижує необхідність в частому контролі з боку оператора.

Серед недоліків варто виділити складну внутрішню структуру та велику кількість рухомих частин, що збільшує вартість виготовлення. Пристрій не зможе себе ефективно очищати при роботі з липкими, або в'язкими речовинами, що призведе до частих зупинок для обслуговування.

Патент CN120115012A [3] описує інноваційну мембрану зворотного осмосу та метод її виготовлення (рисунок 3). Її створення пов'язане з прагненням

підвищити ефективність фільтрації. Однією із головних особливостей мембрани є покращена пропускна здатність та стійкість до біозабруднень. Мембрана складається з трьох основних елементів, а саме:

1. Пористої опорної мембрани, яка забезпечує механічну міцність
2. Розділювального шару, який представляє собою тонкий поліамідний шар, що формується на опорній мембрані. В нього інтегрована лінійна полічетвертинна амонійна сіль.
3. Антибактеріального шару, який формується на поверхні розподільного шару у вигляді молекулярних щіток, які складаються з груп полічетвертинної солі.

Основний принцип роботи полягає у використанні спеціального реагенту у вигляді лінійної полічетвертинної амонійної солі. Вона заповнює мікропорожнини в поліамідній структурі, роблячи мембрану щільнішою та одноріднішою, підвищуючи її здатність затримувати малі органічні молекули. Під час промивання багатоатомним спиртом частина полічетвертинної амонійної солі виходить на поверхню, формуючи антибактеріальний шар без втрати пропускної здатності.

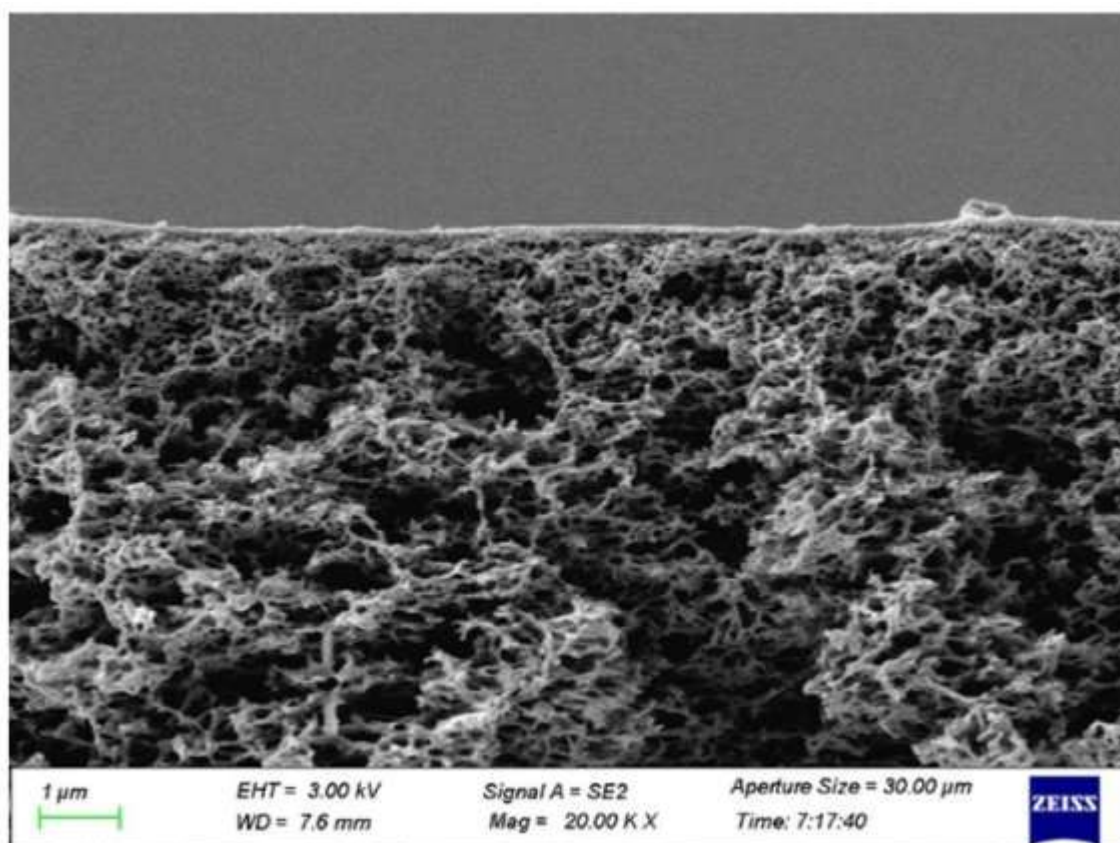


Рисунок 3 – Тришарова мембрана

Перевагами даної мембрани є висока пропускна здатність через додавання полімеру та утворення двостінних гідратаційних каналів. Структура мембрани дозволяє ефективніше затримувати невеликі органічні молекули. Це сприяє зменшенню біообростання мембрани, що є однією із головних проблем традиційних мембран.

Недоліками ж є висока вартість виготовлення пов'язана з необхідністю точного контролю рівня рН, температури та використання спеціальних хімікатів. Для ефективного використання варто дотримуватися оптимальних температури, концентрації, в іншому випадку ефективність падає.

Висновок: Розглянуті патенти в галузі зворотного осмосу та фільтрації демонструють увагу на хімічну модернізацію мембран та на автоматизацію процесів утилізації. Новітні мембрани вдосконалюються шляхом вбудовування функціональних полімерів, що дозволяє одночасно підвищити пропускну

здатність, покращити селективність і надати мембрані антибактеріальних властивостей, вирішуючи проблему біообростання. Паралельно розвиваються інтелектуальні системи для безперервної утилізації концентрованої води, які використовують багаторівневу фільтрацію та самоочищення.

Список використаної літератури:

1. YOU Shisen, QIU Hailin та ін. Composite reverse osmosis membrane material : пат. CN 120132623A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — Китай. — № CN 202510636443A; заявл. 17.05.2025; опубл. 13.06.2025.
2. GAO Ming, LI Li та ін. Reverse osmosis concentrated water recovery device : пат. CN 120132445A / SHANDONG SANCAI ENVIRONMENTAL PROTECTION TECH CO LTD. — Китай. — № CN 202510628892A; заявл. 16.05.2025; опубл. 13.06.2025.
3. WANG Ming, WU Chao та ін. Reverse osmosis membrane as well as preparation method and application thereof : пат. CN 120115012A / BLUE STAR HANGZHOU MEMBRANE IND CO LTD. — Китай. — № CN 202510601748A; заявл. 12.05.2025; опубл. 10.06.2025.

MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN PLATE OF THE METHANOL PRODUCTION PLANT

student Trunin A.O., Ph.D., associate professor Stepaniuk A.R.

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

ANNOTATION The paper describes the purpose of a distillation column for methanol production, presents the design of a modernized plate with inclined slots, analyzes its operation, and justifies the feasibility of modernization.

KEYWORDS: METHANOL, RECTIFICATION COLUMN, STEAM GENERATOR, MODERNIZATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТАРІЛКИ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ

студент Трунін А.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

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

АНОТАЦІЯ У роботі описано призначення ректифікаційної колони для виробництва метанолу, наведено конструкцію модернізованої тарілки з похилими прорізами, проаналізовано її роботу та обґрунтовано доцільність модернізації.

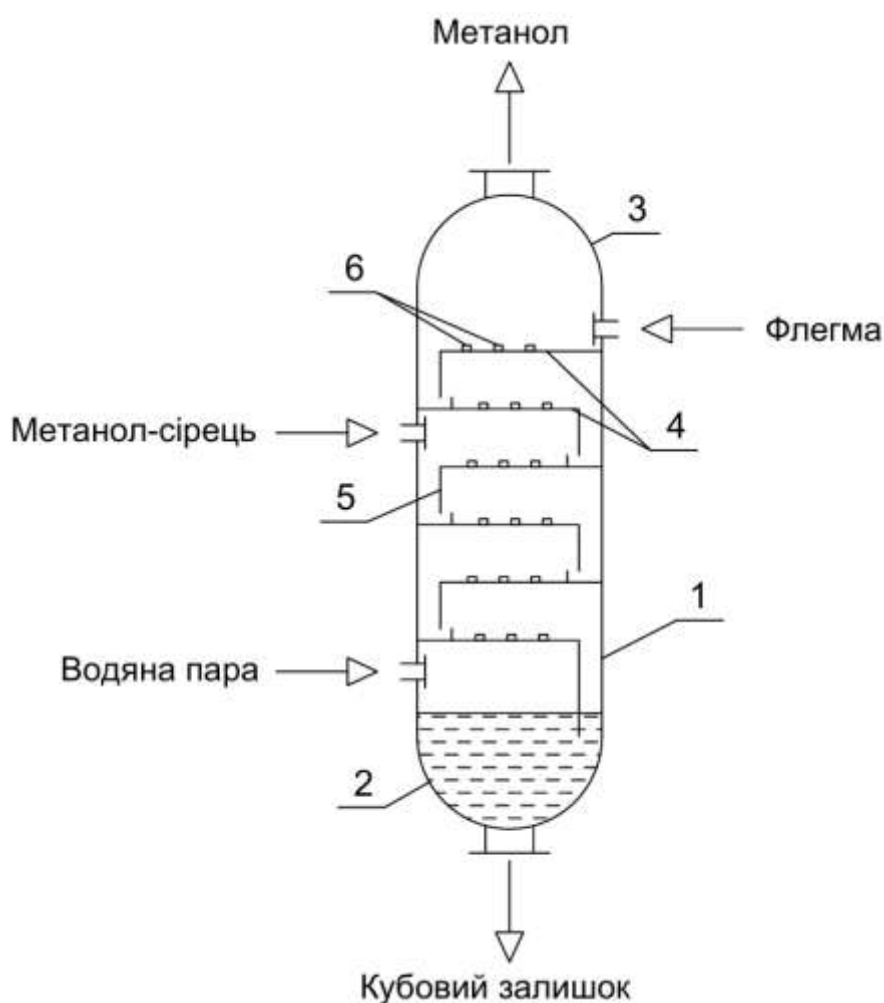
КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Methanol (CH_3OH) is an important substance used in many industries. For the methanol rectification process, we chose a plate-type rectification column with cap plates. Such a column is the optimal choice for the installation due to its high

efficiency, operation in a wide load range, and increased resistance to mode fluctuations and contamination [1].

The column diagram is shown in Figure 1. The aim of the work is to modernize the distillation column to increase mass transfer efficiency and reduce energy consumption by improving the design of the plates.

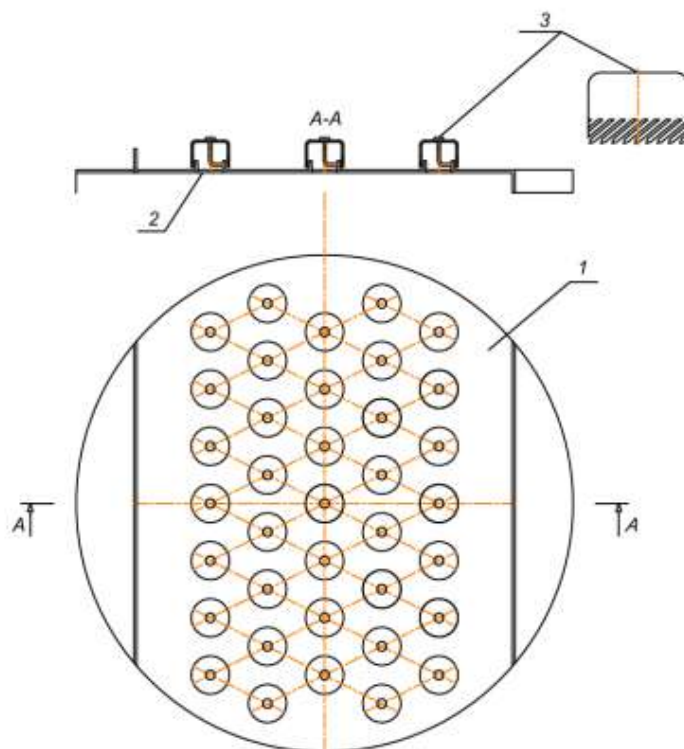
After analyzing the advantages and disadvantages of plate distillation columns, we proposed a modernization of the cap plate in the form of a modified design of the caps, in which their openings are inclined at an angle of 45-60° to the vertical, which allows the vapor to escape not only upward, but also partially to the side, creating turbulence and more active mixing of the liquid [2].



1 – body, 2 – bottom, 3 – lid, 4 – cap plates, 5 – overflow wall, 6 – caps.

Figure 1 – Scheme of a plate distillation column with cap-type plates [1]

The installation diagram of the upgraded cap is shown in Figure 2. The visualization of the column cap upgrade is shown in Figure 3.



1 – plate; 2 – hole; 3 – caps.

Figure 2 – Installation diagram of the modernized cap [2].

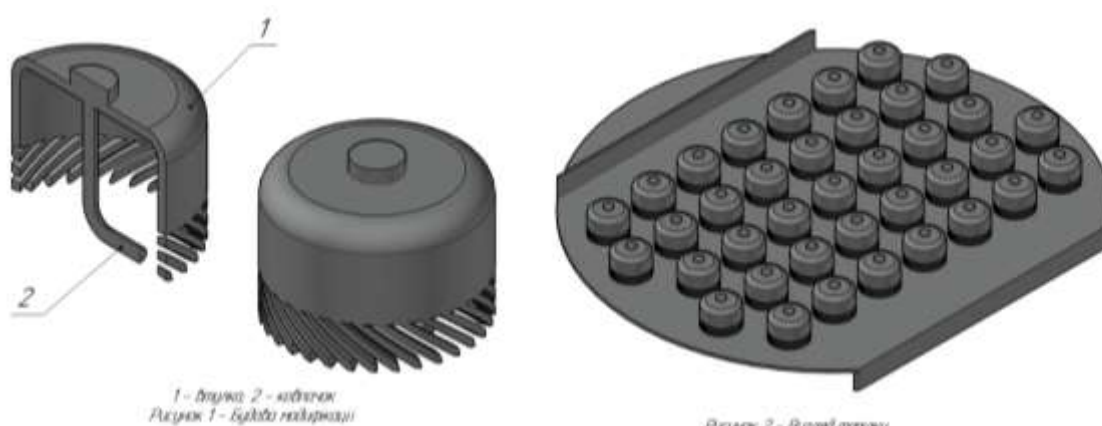


Figure 3 – Visualization of column cap modernization

To prove the feasibility of the modification, a simulation of the operation of a conventional plate cap and one modified using the medium was conducted. FreeCad. The results of the simulation experiment are shown in Figures 4 and 5.

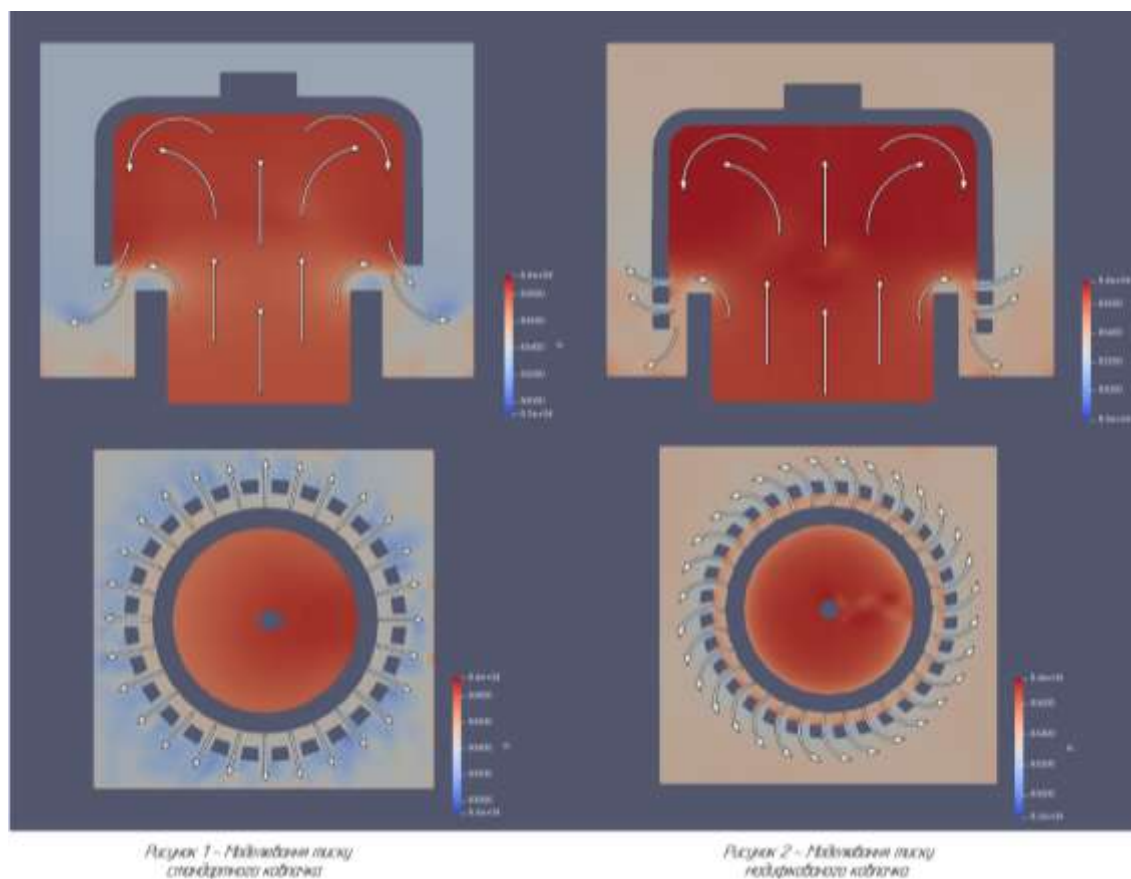


Figure 4 – Results of the pressure simulation experiment

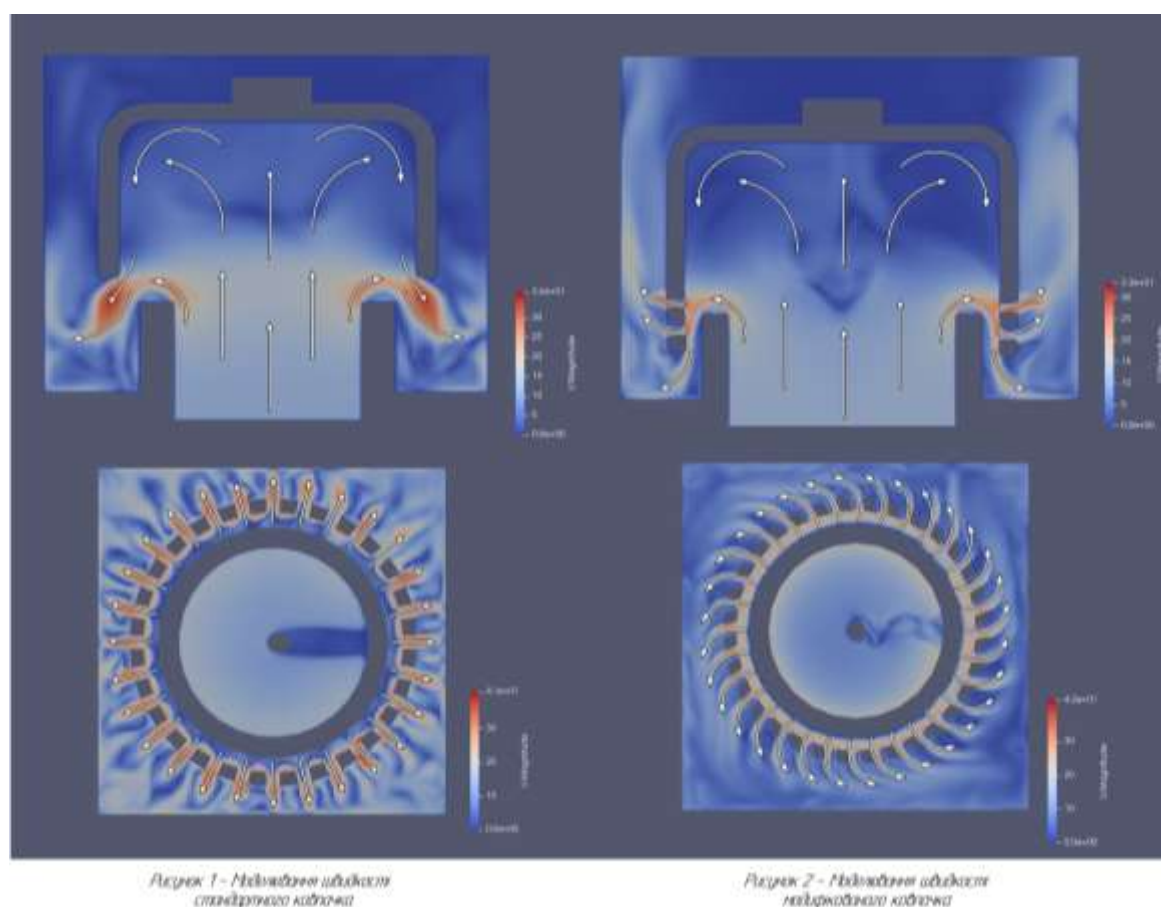


Figure 5 – Results of the speed simulation experiment

The results show that the pressure distribution in the conventional and modernized caps remains practically the same: according to the model, the maximum and average pressure values differ by no more than 2-3%. This is explained by the fact that the total area of the passage holes in the two designs is the same, so the hydraulic resistance of the system almost does not change, and the difference can only arise due to the direction of the steam outlet.

The velocities in the simulation show that in the model of the modernized cap, the inclined holes form a larger vapor dispersion zone compared to the conventional cap, with an increase in the contact area of approximately ~20-25%. This is explained by the fact that the inclined holes direct part of the vapor to the side, forming a wider jet area and increased turbulence, and as a result, the vapor covers a larger part of the

plate surface, mixes the liquid layer more intensively and reduces stagnant areas, which enhances mass transfer.

Conclusion: The modeling conducted in the FreeCAD environment confirmed the feasibility of the proposed modernization. Analysis of pressure and velocity simulations showed that the modernized design promotes more intensive mixing and creates a turbulent gas flow, which improves mass transfer conditions compared to standard caps. Therefore, the proposed technical solution can be recommended for implementation in order to optimize the operation of distillation columns in methanol production.

List of resources:

1. Trunin AO, Stepaniuk AR // Modernization of the methanol production installation with the development of a rectification column and steam generator. // Equipment of chemical production and construction material enterprises: abstracts of the XXXV All-Ukrainian scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists, December 1-3, 2024, Kyiv. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025

2. Trunin AO, Stepaniuk AR // Modernization of the trays of the rectification column of the methanol production unit. // Equipment of chemical production and building materials enterprises: abstracts of the XXXVI All-Ukrainian scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists, May 28-29, 2025, Kyiv. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025.

УДК 621.798

ІННОВАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МАКУЛАТУРНОГО ПАКУВАЛЬНОГО ПАПЕРУ

Магістрант Бонь О.П., доцент, к.т.н. Дейкун І.М.

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

Анотація. Проаналізовано сучасні тенденції у виробництві пакувальних матеріалів. Розглянуто екологічні проблеми, пов'язані з утворенням пластикових відходів, а також переваги використання пакувального паперу з макулатури. Наведено інновації у виробництві пакувального паперу із вторинної сировини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПАПІР ПАКУВАЛЬНИЙ, МАКУЛАТУРА, ПЛАСТИК

INNOVATIONS IN THE TECHNOLOGY OF RECYCLED PACKAGING PAPER PRODUCTION

Abstract. The current trends in the production of packaging materials are analyzed. The environmental issues related to the generation of plastic waste, as well as the advantages of using recycled paper-based packaging, are discussed. Innovations in the manufacturing of packaging paper from secondary raw materials are presented.

KEYWORDS: PACKAGING PAPER, RECYCLED FIBRE, PLASTIC

Пакувальні матеріали забезпечують безпечне транспортування та зберігання якості широкого спектра промислової продукції. Середньорічні темпи зростання виробництва пакувальної продукції у світі за прогнозами на найближчі роки будуть складати близько 3,89%.

Значну частку світового ринку пакувальної продукції займає легка та гнучка упаковка для продуктів харчування, фармацевтичної продукції, яка завдяки своїй універсальності, низькій вартості та здатності подовжувати термін придатності виробів є ефективним рішенням для зберігання товарів.

Більшість таких пакувальних виробів виготовляються з одноразового пластику та інших матеріалів на основі нафти. Пакувальні матеріали, отримані з пластику, універсальні, зручні, вони зменшують кількість відходів продукції, забезпечуючи покращений термін придатності та зменшуючи енерговитрати і витрати на транспортування порівняно з упаковкою на основі металу та скла. Однак, пластикові відходи, пов'язані з упаковкою, відповідають за утворення щонайменше 36% від загальної кількості твердих полімерних відходів, що складає понад 400 млн т світових відходів. На сьогодні лише 10 % пластикових відходів, які утворюються щорічно, переробляється. Як наслідок, зростає забруднення довкілля пластиком, оскільки полімерні матеріали здатні не розкладатися понад 500 років.

Така екологічна ситуація актуалізує пошук екологічно безпечних, відновлюваних альтернатив пластиковій упаковці. Використання пакувального паперу, зокрема, виготовленого із вторинної сировини, дає можливість зменшити вплив пакування на довкілля без втрати функціональних властивостей упаковки.

Папір, картон та інші вироби на основі целюлози розглядаються як заміна одноразового пластику в упаковці харчових продуктів завдяки своїй екологічності, доступності, низькій ціні, малій вазі, хорошим механічним властивостям, біосумісності та придатності для переробки.

Однією з ключових інновацій у виробництві пакувального паперу є вдосконалення технологічних процесів підготовки макулатурної маси для отримання паперу з високими показниками міцності, вологоміцністю, газонепроникністю та гладкістю поверхні. З цією метою застосовуються

новітнє обладнання для очищення та сортування макулатурної маси, що дозволяє ефективно видаляти сторонні домішки та забруднення, а також зменшити пошкодження волокон і збереження їхньої довжини.

Іншою важливою інновацією є використання біо-та рослинних покриттів, які надають паперу бар'єрні властивості проти вологи та жиру без використання пластику або парафінових просочень, що робить упаковку більш екологічною та придатною для переробки. Технології багат шарової паперової структури дозволяють комбінувати шари переробленого паперу з різними характеристиками: міцність, жорсткість, естетичність поверхні та функціональні бар'єри, що підвищує надійність упаковки.

Виробництво макулатурного паперу поєднує автоматизацію та цифрові технології для моніторингу якості сировини та паперу, що дозволяє оптимізувати технологічні процеси, зменшити кількість браку та енергоспоживання.

Завдяки цьому, пакувальний папір з макулатури не лише відповідає стандартам якості та безпеки, але є конкурентоспроможною альтернативою первинній целюлозі та пластику, відповідаючи потребам сучасного ринку пакувальної продукції.

Список літератури

1. Shaikh, S.; Yaqoob, M.; Aggarwal, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. *Curr. Res. Food Sci.* **2021**, 4, 503–520.
2. Jieying S, Tingting L, Caie W, Dandan Z, Gongjian F, Xiaojing L. Paper-based material with hydrophobic and antimicrobial properties: Advanced packaging materials for food applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* **2024** May;23(3):e13373. doi: 10.1111/1541-4337.13373. PMID: 38778547.
3. Dey, A.; Sengupta, P.; Pramanik, N.K.; Alam, T. Paper and other pulp based eco-friendly moulded materials for food packaging applications: A

- review. *J. Postharvest Technol.* **2020**, 8, 1–21.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100908>.
4. Samarathunga, A.I.; Kulasooriya, W.G.C.M.; Sewwandi, H.M.D.U.; Vithanage, V.; Induranga, A.; Kumara, B.S.; Koswattage, K. Experimental Analysis of Mechanical Property Enhancement of Paper-Pulp-Based Packaging Materials Using Biodegradable Additives. *Sustainability* **2024**, 16, 10310.
<https://doi.org/10.3390/su162310310>.
5. Mark J. Kirwan. Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology, Second Edition. Edited by Mark J. Kirwan. **2013**.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА УСТАНОВКИ АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ

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

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: У даній роботі представлено опис технологічної схеми одержання сирого бензолу при паровому нагріві поглинаючого масла. Розглянуто основні технологічні рішення і параметри ведення процесу алкілування. Представлено основні властивості бензолу, описано переваги і недоліки його застосування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ, БЕНЗОЛ, АЛКІЛУВАННЯ.

MODERNIZATION OF THE DEPHLEGMATTER OF THE BENZENE ALKYLATION PLANT

student Antonchuk E. E., senior lecturer, Ph.D., S.N.S. Konyk A.V.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: This paper presents a description of the technological scheme for obtaining crude benzene by steam heating of absorbing oil. The main technological solutions and parameters of the alkylation process are considered. The main properties of benzene are presented, the advantages and disadvantages of its use are described.

KEYWORDS: HEAT EXCHANGER, BENZENE, ALKYLATION.

Бензол (C_6H_6) – це органічна ароматична сполука, що являє собою безбарвну рідину з характерним запахом. Його молекула складається з шести атомів вуглецю, з'єднаних у плоске шестичленне кільце з делокалізованими π -

електронами, що забезпечує високу стабільність і робить бензол типовим представником ароматичних вуглеводнів. Він погано розчиняється у воді, але добре змішується з органічними розчинниками.

Хімічно бензол відзначається низькою реакційною здатністю в реакціях приєднання, проте легко вступає в реакції електрофільного заміщення, такі як нітрування, сульфування чи галогенування. Однак, не зважаючи на свою цінність у промисловості, бензол є токсичним і вважається канцерогеном, що потребує суворого контролю умов роботи з ним. Бензол є важливою сировиною для виробництва пластмас, синтетичних волокон, гумових матеріалів, фармацевтичних препаратів, барвників і різних хімічних проміжних продуктів. Структура бензолу є основою багатьох ароматичних сполук, тому він має велике значення для органічного синтезу. Водночас через його токсичність актуальними залишаються питання безпеки, екологічного контролю та розвитку альтернативних технологій, що зменшують вплив бензолу на здоров'я людей та довкілля.

Виробництво бензолу ґрунтується переважно на переробці нафти та кам'яного вугілля. Сучасна промисловість отримує бензол головним чином методом каталітичного реформінгу, під час якого вуглеводні бензинової фракції перетворюються на ароматичні сполуки за дії каталізаторів і високої температури. Іншим поширеним способом є піроліз нафтових фракцій: у результаті високотемпературного розкладання утворюється піролізний бензин, що містить значну кількість ароматичних компонентів, з яких після очищення виділяють бензол. Традиційним, хоч і менш актуальним на сьогоднішній день методом, залишається коксування кам'яного вугілля, під час якого бензол видобувають із кам'яновугільної смоли та коксового газу шляхом абсорбції й подальшої ректифікації.

Усі ці способи виробництва зберігають свою актуальність, оскільки бензол є ключовою сировиною для виготовлення пластмас, синтетичних

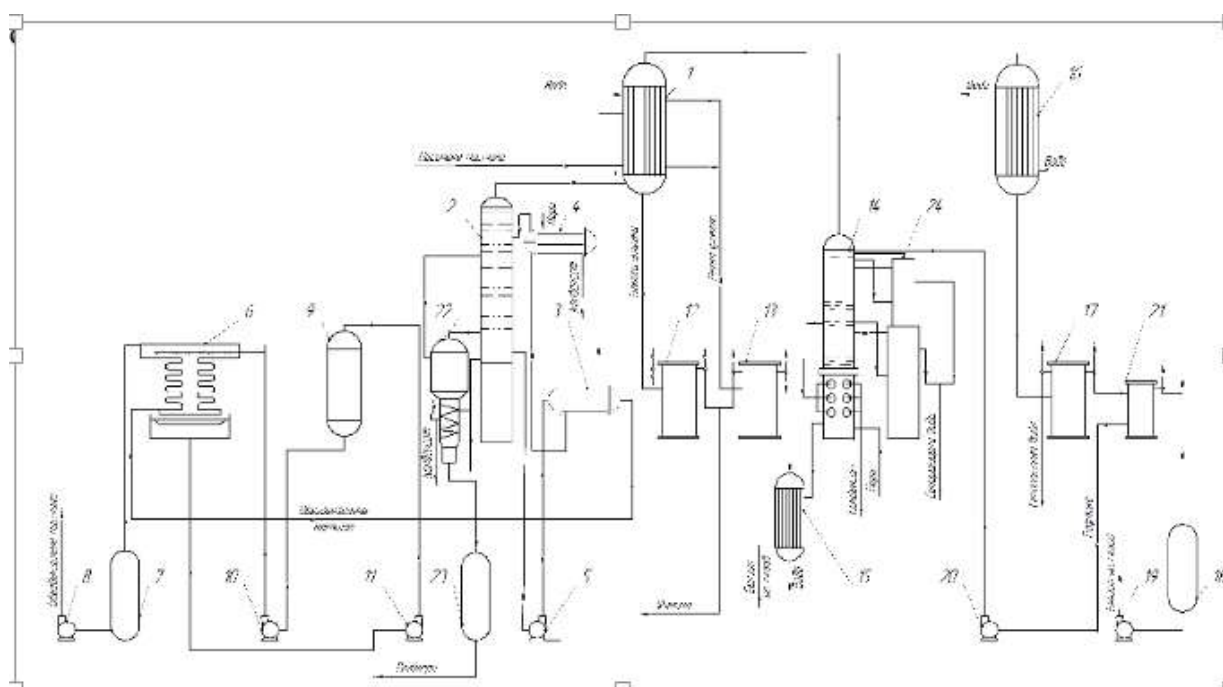
волокон, гуми, барвників, ліків та багатьох інших органічних речовин. Незважаючи на токсичність і суворі вимоги до безпеки, світова промисловість продовжує активно використовувати бензол через його центральне значення в органічному синтезі.

На рисунку 1 наведено схему сирого бензолу при паровому нагріві поглинаючого масла. Насичене бензольними вуглеводнями поглинальна олія після скрубєрів подається в дефлегматор 1, в якому нагрівається від 25-30°C до 75-80°C парами, що виходять з дистиляційної колони 2. Насичене масло надходить у трубний простір нижніх трубчаток, розташованих горизонтально простір знизу вгору. Верхня трубчатка дефлегматора охолоджується технічною водою.

Після дефлегматора масло надходить в теплообмінні апарати 3, де нагрівається знебензоленим маслом, що стікає з колони до температури 105-115°C і далі підігрівається глухою парою в паровому підігрівачі 4 до температури 130-135°C.

З парового підігрівача масло надходить у дистиляційну колону 2, в якій за допомогою гострої пари, що подається в нижню частину, відганяються бензольні вуглеводні, а також частина поглинаючої олії та води.

З нижньої частини колони знебензолене масло відкачується насосом 5 теплообмінники 3, де воно віддає частину свого тепла маслу, що надходить з дефлегматора. Після теплообмінника знебензолене масло має температуру 90-100°C.



1,16 – дефлегматор; 2 – дистиляційна колона; 3 – теплообмінний апарат;
4 – паровий нагрівач; 5,8,10,11, – насос; 6 – зрошувальний охолоджувач;
7,18,23 – збірник; 9 – конденсатор; 12,13,17,21 – сепаратор; 14 – розділова
колона; 15 – холодильник; 22 – випарник; 24 – додаткова колона.

Рисунок 1 – Схема сирого бензолу при паровому нагріві поглинаючого масла

Остаточне охолодження знебензованої олії здійснюється в зрошувальному холодильнику 6, після чого воно надходить у збірник 7 і далі насосом 8 подається на скрубери. Зрошувальний холодильник охолоджується водою, що подається після градирні 9 насосом 10, а нагріта вода відкачується насосом 11 на градирню.

Пари бензольних вуглеводнів, поглинального масла та води з дистиляційної колони 2 надходять у міжтрубний простір дефлегматора 1. У нижніх трьох трубчатках, як зазначено було вище, пари охолоджуються насиченим маслом, а у верхній трубчатці - технічною водою.

Флегми, що утворюються в дефлегматорі - важка і легка надходять у сепаратори 12 і 13, відповідно. Після обох сепараторів флегму з'єднують і

додають у цикл поглинального масла, а воду після додаткового відстоювання від масла відводять у каналізацію фенольних вод.

Після дефлегматора пари сирого бензолу і пари води, що не сконденсувалися, направляються в розподільну колону 14, в якій пари бензольних вуглеводнів поділяються на дві фракції сирого бензолу: легкий бензол (або бензол I) і важкий бензол (або бензол II).

Розподільна колона складається з двох частин: верхньої - ректифікаційної та нижньої - випарної.

Пари з дефлегматора 7 надходять в низ частини ректифікації колони і, проходячи знизу вгору, збагачуються низькокиплячими компонентами. При цьому верх колони в якості рефлюксу подається бензол I з конденсатора. Пари легкого бензолу і водяні пари з верхньої частини розділової колони надходять у конденсатор 16, конструкції аналогічний дефлегматору.

У конденсаторі відбувається конденсація та охолодження бензолу та води. Пари надходять в міжтрубний простір, проходячи зверху вниз послідовно трубчатки, а вода, що охолоджує, проходить по трубках від нижньої трубчатки до верхньої.

Бензол I і конденсат води з конденсатора надходять у сепаратор 17, звідки після відділення води бензол I направляється в бачок для рефлюксу 21.

Частина бензолу I з бака 21 як рефлюкс подається насосом 20 на верхню тарілку частини ректифікації розділової колони 14, а частина надходить у збірник 18, звідки насосом 19 подається на склад.

Для виведення конденсату води, що утворюється вгорі колони, з її верхніх тарілок, відводиться бензол I і вода в сепаратор 24, і після відділення води бензол I повертається в колону. Зазвичай сепаратор 24 відводиться рідина з другої тарілки, а повертається з сепаратора на третю тарілку зверху. В результаті конденсації, що відбувається на тарілках ректифікаційної частини колони, конденсат, що утворюється, також містить воду. Тому бензольні

вуглеводні та вода з нижньої тарілки цієї частини розділової колони виводяться в сепаратор 24, звідки після відокремлення від води бензольні вуглеводні повертаються на верхню тарілку нижньої - випарної частини розділової колони.

У випарній частині колони встановлені підігрівачі для підігріву важкого бензолу - бензолу II глухою парою. З цієї частини колони бензол II надходить до холодильника 15, звідки передається на склад.

Оскільки, якість циркулюючого поглинального масла в процесі роботи погіршується внаслідок розчинення в ньому продуктів полімеризації, що утворюються, і при цьому збільшується в'язкість і молекулярна маса поглинача, то для збереження якості масла деяка його частина виводиться з циклу масла на регенерацію.

Регенерація поглинального масла здійснюється в паровому регенераторі 22. Для цього з однієї з верхніх тарілок дистиляційної бензольної колони 2 частина поглинального масла в кількості близько 1-1,5% відводиться в регенератор, де воно нагрівається глухою парою до 160-165°C і промивається. Олія при цьому майже повністю випаровується і разом з водяними парами надходить у нижню частину дистиляційної колони.

Утворені при високій температурі з ненасичених сполук, що містяться в олії полімери, а також важкі погони масла випускаються через нижній спускний штуцер регенератора в збірник 23.

Кількість полімерів, що виводяться з регенератора, становить 10-40% від кількості масла, що направляється в регенератор [3].

Перелік посилань

1. Properties and uses of benzene. Systopt website. URL: <https://www.systopt.com.ua/ru/article-vlastyvosti-ta-zastosuvannya-benzolu> (access date: 28.11.2025).

2. Benzene — characteristics. URL:
<https://www.google.com/search?client=opera&q=бензол+характеристика&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8> (access date: 28.11.2025).
3. Коробчанський І.Є., Кузнецов М.Д. Розрахунки апаратури для уловлювання хімічних продуктів коксування - М.: Металургія, 1972.

UDC 66.048.3

Overview of equipment for the production of ethyl alcohol

Student Sytnyk V. M., associate professor Haidai S. S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *An analysis of the technology for producing ethyl alcohol was conducted and a description of the technological scheme for its production was provided.*

Keywords: *RECTIFICATION COLUMN, RECTIFICATION, ETHANOL, DEPHLEGMATOR.*

Огляд обладнання для виробництва етилового спирту

Студент Ситник В.М., доцент Гайдай С.С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

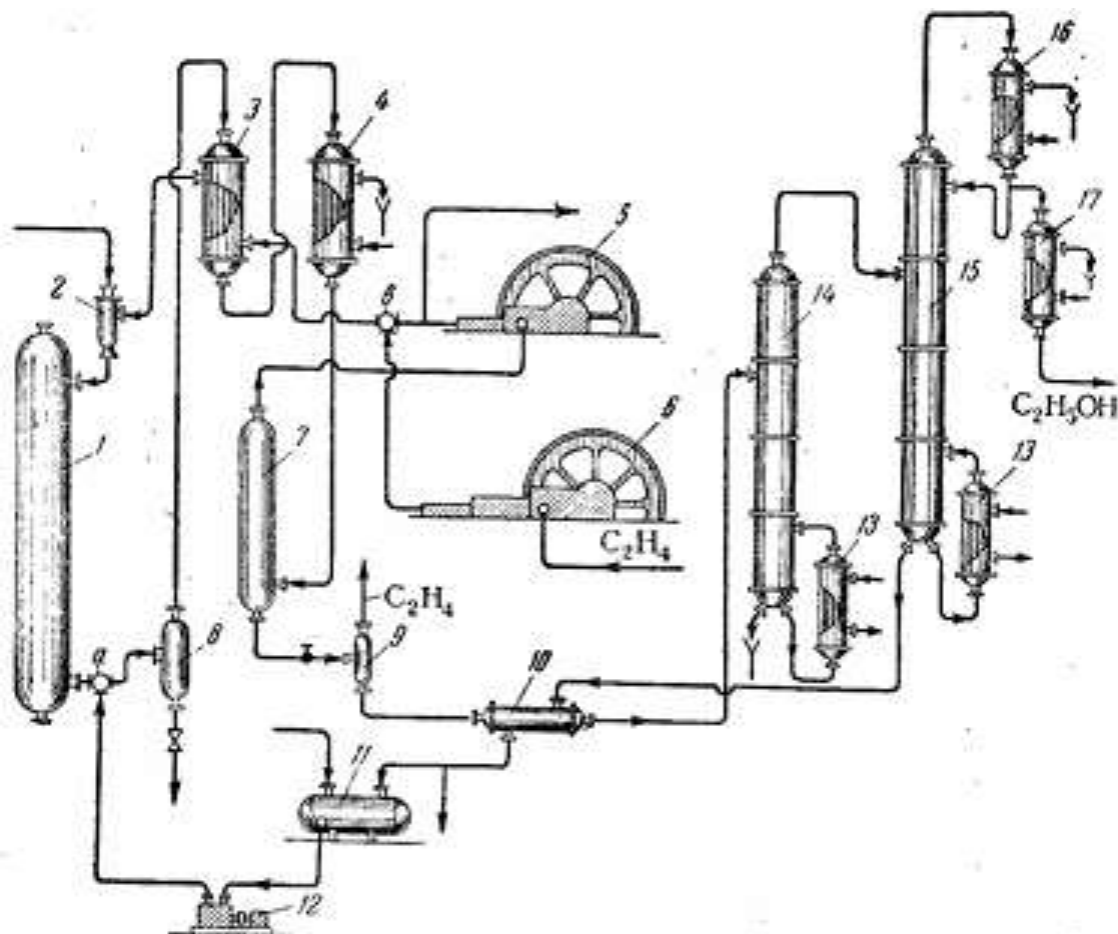
АНОТАЦІЯ: *Проведено аналіз технології одержання етилового спирту та наведено опис технологічної схеми його виробництва.*

КЮЧОВІ СЛОВА: *РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, РЕКТИФІКАЦІЯ, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, ДИФЛЕГМАТОР.*

Ethanol (also known as ethyl alcohol, drinking alcohol, or absolute alcohol) is an organic compound with the chemical formula C_2H_5OH . It belongs to the group of monohydric alcohols and, under standard conditions, is a colorless, highly flammable liquid. Ethanol is widely used as a component of alcoholic beverages, as well as in industry as a solvent, antiseptic, fuel, and a raw material for the synthesis of other

chemical compounds. It is also a toxic substance with narcotic effects, classified as a hazard class 4 substance in terms of its impact on the human body [1].

The technological scheme for ethanol production is shown in Figure 1 [2].



1 – contact device (hydrator), 2 – steam injector, 3 – heat exchanger - recuperator, 4 – refrigerators – condensers, 5 – circulation compressor, 6 – compressor, 7 – high pressure separator, 8 – salt separator, 9 – low pressure separator, 10 – heat exchanger, 11 – collector for alkali solution, 12 – high pressure pump, 13 – boiler, 14 – evaporation column, 15 – rectification column, 16 – dephlegmator, 17 – heat exchanger, D.V. – throttle valve

Figure 1 – Technological scheme of ethanol production

The synthesis of phosphoric acid is carried out by the reaction of ethylene with water vapor in the presence of phosphoric acid, which acts as a catalyst. The

process takes place in a reactor, into which ethylene and water vapor are fed through a mixer. As a result, a mist of phosphoric acid is formed, which is directed to a heat exchanger for further condensation.

The resulting phosphoric acid condensate is accumulated in a receiving tank, from which it is pumped to the rectification unit. During rectification, the mixture is separated according to temperature regimes. Vapors formed in the lower part of the column rise upward through a system of trays, where heat exchange occurs with cooled streams.

In the upper part of the column, a condenser is installed, which reduces the temperature of the vapors to the liquid state. The obtained phosphoric acid fraction is directed to a storage tank, while the residual gases are removed through the gas purification system.

Rectification of alcohol is carried out in a vertical column equipped with trays and heat exchange elements. Water vapor is supplied from below, providing heating of the liquid phase and evaporation of alcohol.

The alcohol vapors, rising through the trays, partially condense, enriching the vapor phase with the main component. In the upper zone of the column, a cooler is located, where condensation of alcohol vapors and collection of condensate in a receiving tank take place.

Components that are not subject to condensation are removed through the ventilation system. To maintain a stable temperature regime, a cooling circuit with a refrigerant circulating in a closed system is used.

The rectification unit includes the main components: rectification column, reboiler, dephlegmator, condenser-cooler, distillate receiver, and residue removal system. The column is equipped with trays that provide effective contact between vapor and liquid phases and promote mass transfer.

The reboiler supplies heat to the lower part of the column, initiating the evaporation of the mixture. Vapors rise upward, partially condensing on the trays and

enriching the upper fractions with alcohol. In the upper part of the column, a dephlegmator is installed, which returns part of the condensate back into the column to increase separation efficiency.

The condenser-cooler cools the alcohol vapors to the liquid state, after which the distillate is collected in a receiving tank. Non-condensed components are removed through a ventilation or disposal system.

To maintain the required temperature parameters in the column, a cooling system consisting of a condenser-cooler and a refrigerant circulation loop is used. Freon or another thermally stable coolant is usually applied as the refrigerant, which moves between the condenser and the heat exchanger.

The temperature of the refrigerant is regulated by a compressor and a thermostatic expansion valve, which ensures optimal conditions for the condensation of alcohol vapors in the upper part of the column. Heat removal is carried out through an external heat exchanger cooled by water or air.

The cooling system operates automatically, maintaining the stability of the technological process. In case of exceeding the allowable parameters, the supply of steam and the operation of the compressor are automatically stopped.

Process parameters are controlled by temperature, pressure, and liquid level sensors placed in key zones of the unit. The obtained data are transmitted to the control panel, where the operator can regulate the process in real time.

To ensure safe operation, an emergency pressure relief system, safety valves, and automatic interlocks are provided in case of deviations from operating modes. All elements of the unit are made of corrosion-resistant materials, which ensure reliable and long-term operation of the equipment.

When alcohol is supplied with a small amount of water, its withdrawal is carried out from the upper part of the column. The alcohol condensate obtained as a result of condensation is partially withdrawn as a finished product — distillate, and

the other part, representing pure alcohol with water impurities, is returned to the top tray of the column as reflux.

The supply of reflux to the top tray ensures the stability of the composition of the phases interacting on the contact elements in the upper zone of the column. In the process of the reflux flowing down from tray to tray, the liquid phase is enriched with both low-boiling and high-boiling components.

At the feed tray, the equilibrium of the component concentrations is established between the contacting phases, as well as in the feed mixture itself.

During the rectification of the alcohol mixture, the withdrawal of bottom reflux is also carried out, which can be heated and reused for heat supply to the column. The bottom reflux is directed to the heat and mass transfer elements of the lower part of the column, and its residue is discharged from the bottom during the operation of the unit.

References.

1. Bruce E. Poling, Geoege H. Thomson, Daniel G. Friend, Richard L. Rowely, W. Vincent Wilding. *Perry's Chemical Engineers Handbook. 8th Edition*, 2008. – P. 521.
2. Aden A., Ruth M., Ibsen K. et al. *Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics. National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. Technical Report NREL/TP-510-32438, 2002. – pp. 37–45.

UDC 662.767.2

BIOGAS PURIFICATION PLANT WITH DEVELOPMENT OF HEAT EXCHANGER

Student Koren D.O., Associate Professor Haidai S.S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *The technological scheme of the biogas purification plant is reviewed and described, and the design of the heat exchanger is analyzed.*

KEYWORDS: *BIOGAS, PURIFICATION, HEAT EXCHANGER.*

УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ З РОЗРОБКОЮ ТЕПЛООБМІННИКА

Студент Корень Д.О., доцент Гайдай С.С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто та зроблено опис технологічної схеми установки для очищення біогазу та проаналізовано конструкцію теплообмінника.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *БІОГАЗ, ОЧИЩЕННЯ, ТЕПЛООБМІННИК.*

Biogas is a gaseous fuel that is formed as a result of anaerobic (without oxygen) decomposition of organic matter under the action of microorganisms. The main sources of biogas are animal manure, agricultural waste, food waste, sewage, fallen leaves and other biodegradable materials. Biogas is one of the most promising

renewable energy sources, which contributes to the reduction of greenhouse gas emissions and the utilization of organic waste [1].

The process of biogas formation occurs through anaerobic fermentation of organic matter in special sealed reactors - methane tanks or bioreactors. This process consists of several consecutive stages:

1. Hydrolysis - the breakdown of complex organic compounds (proteins, fats, carbohydrates) into simpler substances, such as amino acids, fatty acids and sugars.
2. Acidogenesis - the formation of volatile fatty acids, alcohols, hydrogen, carbon dioxide and ammonia.
3. Acetogenesis — the conversion of intermediate products into acetic acid, hydrogen, and carbon dioxide.
4. Methanogenesis — the final stage in which methane-forming bacteria produce methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) [2,3].

The process can be carried out at different temperature regimes: mesophilic ($30\text{--}40^\circ\text{C}$) – the most common in industrial plants or thermophilic ($50\text{--}60^\circ\text{C}$), characterized by a higher fermentation rate, but requires more stable control of conditions.

The chemical composition of biogas depends on the type of raw material and fermentation conditions, but on average it contains: methane (CH_4) – 50–70%; carbon dioxide (CO_2) – 25–45%; hydrogen (H_2) – 1–2%; nitrogen (N_2) – up to 2%; hydrogen sulfide (H_2S) – 0.01–0.5%; water vapor and small amounts of ammonia, oxygen and other gases [1, 2].

Methane has the greatest energy value, therefore the quality of biogas is determined by its content. The heat of combustion of biogas varies within 18–25 MJ/m³.

Biogas purification is a necessary step to increase its calorific value, reduce corrosive effects on equipment, and meet fuel requirements. The main purification methods include [3, 4]:

Figure 1 – Biogas purification process flow chart

The gas coming from the metering unit is directed to heat exchangers (3, 4), where the unstable condensate is heated. After cooling in the heat exchangers, the gas is transported to the intermediate separators (5, 6). At the same time, the gas from the metering unit is fed to the heat exchangers (1, 2), in which the process of its cooling takes place. The further flow of cooled gas from these heat exchangers is redirected to the intermediate separators for the separation process.

The gas released during the separation process in the devices (11, 12) is sent for reheating in the heat exchangers (1, 2). After heating, this gas is transported to the gas metering unit in the gas preparation plant (GTP). The condensate collected in the separators (10) is mixed with the condensate from the separators (5, 6 and 11, 12), after which it is heated in the heat exchangers (3, 4). After passing through the heat exchangers, the condensate enters the liquid separator (13).

From the liquid separator, the degassing gas is directed to the compressed gas compressor station (CSCS), the water-methanol solution is fed to the methanol farm, and the condensate of liquefied hydrocarbon fractions (LHCF) is transferred to the LHCF collection unit.

The heat exchanger is located after the compressor or before the CO₂ absorption unit. Its function is to cool or heat biogas, which contributes to more effective removal of moisture and impurities.

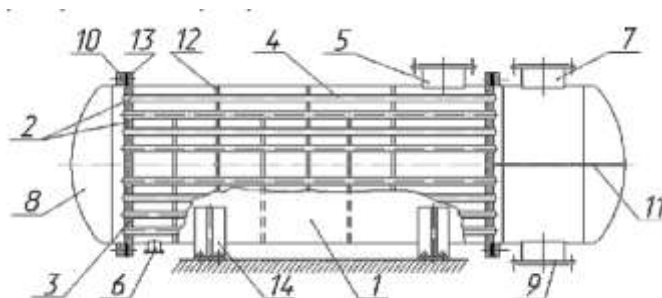
Figure 2 shows a shell-and-tube heat exchanger, which consists of a bundle of tubes fixed in tube grids and limited by a casing, covers, etc.

The tube and intertube spaces, in which hot and cold coolants move, are separated from each other by a heat exchange surface, and each of these spaces can be divided into several passes by partitions.

So, the heat exchanger consists of a casing 1, in which a tube sheet 2 is placed, which in turn consists of two tube sheets 3 and a tube bundle 4, which are connected

to the tube sheets by flaring or welding. For the supply and discharge of coolants (saturated steam, condensate, aqueous solution), the apparatus is equipped with pipes or fittings 5, 6, 7.

The ends of the apparatus are limited by covers 8. In order to maintain the required speed of coolants (to ensure high heat transfer coefficients) and to reduce vibration of the tube bundle, partitions 11 and 12 are installed in the heat exchanger, which divide the tube and intertube spaces into sections, while ensuring a certain sequence of coolant passage, both in the tube and intertube spaces. Flanges 9, 10 are used to connect parts of pipelines and fittings to the coolant inlet and outlet pipes and to connect individual units of the apparatus. In addition, for reliable and safe operation when connecting the units of the apparatus, sealing gaskets 13 are used. The heat exchanger is installed on supports 14 at the place of operation. The material of manufacture is usually stainless steel, resistant to the corrosion of biogas [5].



1 – casing; 2 – tube shell; 3 – tube grid; 4 – tubes; 5, 6, 7 – pipes for the input and output, respectively, of saturated steam, condensate and substance; 8 – elliptical cover; 9, 10 – flange, respectively, for pipes and parts of the apparatus; 11, 12 – partitions, respectively, of the tube and intertube space; 13 – gasket; 14 – horizontal support

Figure 2 – Horizontal multi-pass shell-and-tube heat exchanger of rigid design

The device transfers heat between the streams without mixing them, reducing the energy consumption of the system. The main advantages are high heat transfer efficiency, reliability, versatility and ease of maintenance [5].

The use of a shell-and-tube heat exchanger in a biogas purification plant allows to increase the efficiency of the process, improve the quality of the obtained biomethane and reduce the energy costs of the enterprise.

REFERENCES

1. What is biogas? [Електронний ресурс] // Bioenergy Concept : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://bioenergy-concept.com/what-is-biogas/> (дата звертання 12.10.2025).
2. Kumar M. Methods of biogas purification – a review [Електронний ресурс] / M. Kumar, S. Patel // ResearchGate. – 2023. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/330666040_METHODS_OF_BIOGAS_PURIFICATION-A_REVIEW (дата звертання 12.10.2025).
3. Biogas purification methods [Електронний ресурс] // GreenGas : веб-сайт. – 2023. – Режим доступу: <https://greengasinc.com/energy/biogas-purification-methods/> (дата звертання 12.10.2025).
4. Recent advances in biogas upgrading technologies [Електронний ресурс] / L. Wang [та ін.] // ScienceDirect. – 2023. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031992304051X> (дата звертання 12.10.2025).
5. Кожухотрубний теплообмінник: Методичні вказівки до виконання розрахункової частини курсового проекту з дисципліни "Теплотехнічні процеси та установки" для студентів усіх форм навчання спеціальності "Енергетичний менеджмент" /Укл. Т.О. Ринкова, В. П. Баб'як, В. І. Шкляр. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2005.

UDC 66.099.2.

ORGANIC-MINERAL FERTILIZER PRODUCTION PLANT

Student Kapuka O.D., Associate professor Haidai S.S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *The technological scheme of a granulator for organic-mineral fertilizers has been considered and described.*

KEYWORDS: GRANULATOR, ORGANIC-MINERAL FERTILIZERS, RESOURCE CONSERVATION, YIELD.

УСТАНОВКА ВИРОБНИЦТВА ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Студент Капука О.Д., доцент Гайдай С.С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто та зроблено опис технологічної схеми гранулятора для органо-мінеральних добрив.*

КЮЧОВІ СЛОВА: ГРАНУЛЯТОР, ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ, ВРОЖАЙНІСТЬ.

Against the backdrop of intensive development of agricultural production and increasing pressure on land resources, the issue of soil fertility preservation is becoming increasingly relevant. Irrational land use and the lack of adequate nutrient replenishment lead to soil depletion, reduced yields, and deterioration of the ecological condition of agricultural landscapes.

Rational soil use requires the introduction of effective plant nutrition technologies that restore the balance of macro- and microelements. One promising direction is the use of granular organo-mineral fertilizers, which combine a complex of nutrients of organic and mineral origin. Organo-mineral fertilizers contribute to the increased efficiency of nutrient absorption, reduce nitrogen losses, and prevent its entry into groundwater [1].

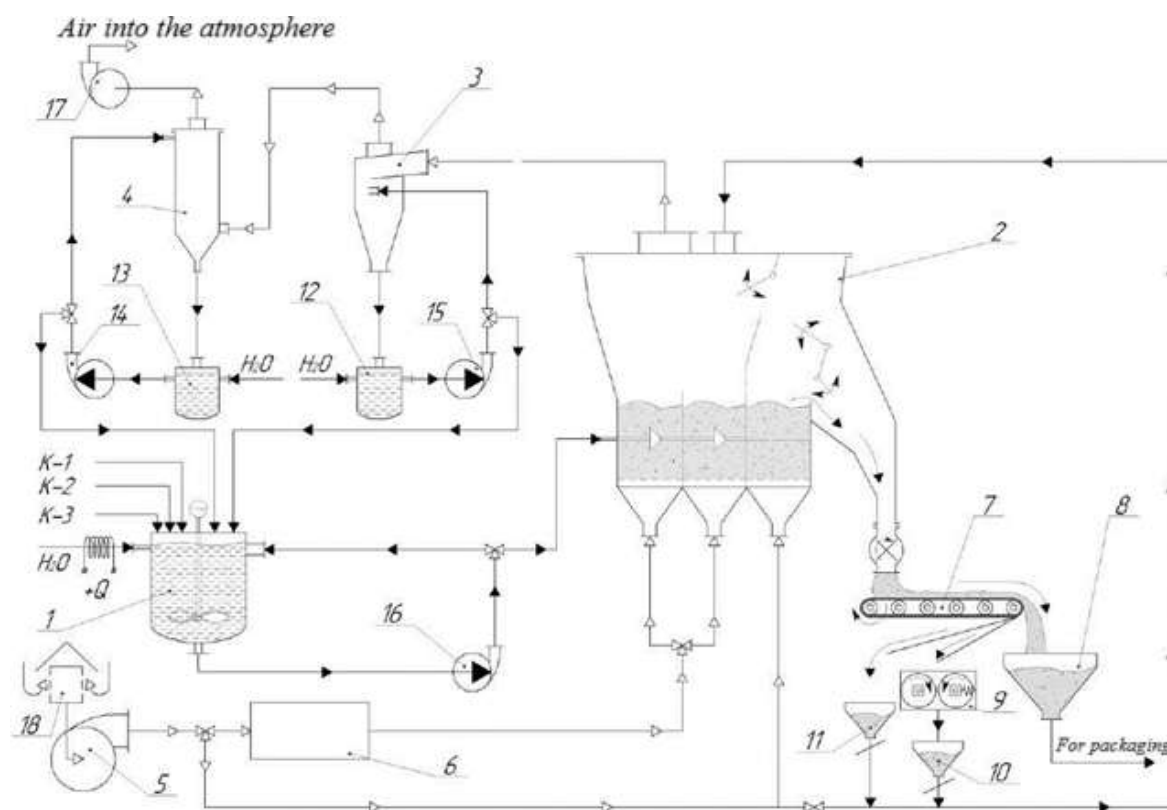
In addition, the granular form ensures ease of transportation, dosing, and uniform application to the soil, which reduces resource consumption and increases the efficiency of fertilization. The development and implementation of such technologies contributes to the restoration of fertility, stabilization of soil structure, and sustainable development of the agricultural sector of the economy.

The technological scheme for the production of organic-mineral fertilizers is shown in Figure 1.

The granulation process in a fluidized bed installation proceeds as follows. The air mixture enters the electric heater 6 and is heated. The heat carrier at a temperature of 280...300°C is fed to the granulator 2, passes through the slots of its gas pressure regulator, enters the layer of granular material (granules or crystals) and converts it into an auto-oscillating jet-pulsation mode of fluidization.

An aqueous solution of ammonium sulfate, sunflower ash, bentonite, and humic substances is fed into container 1 and mixed until a homogeneous heterogeneous system is formed. After the layer reaches a temperature of 90 °C, the working solution from container 1 is fed by pump 16 into granulator 2 for dewatering and granulation and dispersed into the fluidized bed. After contact with the heated

heat carrier, moisture is removed and a microcrystalline layer of dry material forms on the surface of the granules. The cycle is repeated many times, which leads to an increase in the size of the granules [2].



1 – working solution container; 2 – block-modular granulator; 3 – wet cyclone; 4 – scrubber; 5 – VVG fan (gas blower); 6 – heat generator; 7 – conveyor; 8 – finished product hopper; 9 – roller crusher; 10, 11 – hoppers for new granulation centers; 12, 13 – containers for circulating water; 14, 15, 16 – pumps; 17 – fan; 18 – filter.

Figure 1 – Technological scheme for the production of organic-mineral fertilizers [2]

The flow rate of the solution fed to granulator 2 is determined by the temperature of the layer at a characteristic point and is regulated automatically. When the specified size is reached, the granules are discharged from the apparatus [2].

The mass of the layer in the apparatus is maintained automatically. If necessary, the installation provides for the supply of external recycle.

The spent coolant undergoes the first stage of purification in wet cyclone 3. The second stage of purification takes place in scrubber 4. The liquid is fed to wet

cyclone 3 by pump 15 from tank 12, and to scrubber 4 by pump 13 from tank 13. The dust captured in wet cyclone 3 and scrubber 4 by water is returned to the working solution tank 1, where it is mixed and re-fed to the granulator 2 for dewatering.

The commercial fraction of the granulated product (size $d_e=1.5\ldots4.5$ mm) is discharged from the granulator 2 through a sector feeder and fed by a belt conveyor 7 for classification, after which the granules exceeding the specified size are crushed in a roller crusher 9 and returned to the granulator 2 as external recycle, while those that meet the specified sizes are sent to the packaging unit.

After packaging, the granulated product in bags weighing up to 50 kg goes to the finished product warehouse [2].

The installation provides for pneumatic unloading and loading of granulation centers into granulator 2.

References:

1. Волошин М. Д., Черненко Я. М., Іванченко А. В., Олійник М. А. *Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива*: навч. посіб. — Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. — 354 с.
2. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я.М. Корнієнко, С.С. Гайдай, О.В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». — Київ: НТУУ «КПІ», 2014. — 349 с.

UDC 66.048.37:621.59

ANALYSIS OF EXISTING NITROGEN-OXYGEN INSTALLATIONS AND DETERMINATION OF THE DIRECTION OF OWN MODERNIZATION

Student Stasiuk A. Y., associate professor Haidai S. S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *A detailed analysis of the operation of a nitrogen-oxygen plant based on cryogenic technologies was carried out, and the need for modernization of the rectification column and heat exchanger to increase their efficiency and adapt to modern standards was substantiated.*

Keywords: *NITROGEN-OXYGEN PLANT, RECTIFICATION COLUMN, HEAT EXCHANGER, CRYOGENIC TECHNOLOGY, MODERNIZATION.*

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АЗОТНО-КИСНЕВИХ УСТАНОВОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ВЛАСНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Студент Стасюк А.Ю., доцент, к.т.н. Гайдай С. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Здійснено детальний аналіз роботи азотно-кисневої установки, що базується на криогенних технологіях, та обґрунтовано необхідність модернізації ректифікаційної колони й теплообмінника для підвищення їхньої ефективності й адаптації до сучасних стандартів.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *АЗОТНО-КИСНЕВА УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ТЕПЛООБМІННИК, КРІОГЕННА ТЕХНОЛОГІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.*

This paper examines the development of cryogenic air separation technologies, ranging from historical origins to modern innovations that improve the efficiency of industrial processes [1], [2], [3]. The primary focus is on the improvement of rectification columns and heat exchangers, which are critical for the high-quality production of oxygen and nitrogen, as well as for compliance with modern environmental and economic requirements [4], [5].

The analysis relies on historical research data, particularly the works of Carl von Linde, and modern technologies to enhance energy efficiency and reduce costs [1], [6]. Improving these systems helps reduce energy consumption and increase plant productivity, which is essential for competitiveness [7], [8]. Potential issues are also considered, such as the reduction of the phase contact surface area, which can lower separation efficiency due to insufficient interaction between liquid and vapor [2], [3].

The historical overview of rectification column modernization begins with Carl von Linde's research (1895–1910), which laid the theoretical and practical foundations for cryogenic air separation using a single rectification column for oxygen production [1]. In 1910, a double column system (high and low pressure) with a heat exchanger was introduced, allowing for the simultaneous production of high-quality oxygen and nitrogen—a key milestone in the technology's development [2]. The classic Linde scheme is still used in modern nitrogen-oxygen plants, confirming its efficiency and adaptability [1].

In the 1980s, column modernization included the application of structured packings instead of tray columns, which reduced hydraulic pressure drop and lowered energy consumption by 15–20% [3]. Extending the operating range reduced loads by up to 30%, ensuring operational flexibility under variable modes and facilitating argon production [7]. In 2011, packing optimization allowed for the production of pure argon without additional columns while maintaining high purity and product yield, although the reduction in phase contact surface area sometimes lowers separation efficiency due to decreased liquid-vapor contact [8].

Linde's double distillation column (1905) enabled the production of pure oxygen and nitrogen, and by 1912, the technology expanded to industrial argon production with the integration of molecular sieves for water and CO₂ removal, enhancing process safety and efficiency [1]. The transition from simple distillation to fractional distillation with reflux—returning part of the condensed vapor to enrich the vapor phase—improved separation selectivity [2]. Rectification columns with trays or structured packings optimize liquid-vapor contact, though hydraulic losses affecting energy efficiency must be considered [3]. The use of centrifugal forces in the column intensifies the separation process and reduces reliance on gravitational effects, which is particularly effective for high-viscosity media [5].

Heat exchanger modernizations cover the evolution from early designs to modern innovations aimed at increasing thermal efficiency and adapting to complex cryogenic conditions [4]. Early systems utilized an integrated condenser-evaporator with a minimal temperature difference of $dT \approx 1.4$ K, ensuring basic heat exchange in the process [1]. In 2000, cascade condensers emerged, improving heat transfer efficiency, while downflow condensers (2006) and reflux condensers (2008) allowed for integration with rectification systems and reduced equipment footprint [6]. These solutions eliminated the need for external pipelines for oxygen and nitrogen, saving up to 15% of energy over the last 10 years [7].

Optimized plate-fin heat exchangers with enhanced fins (2015) significantly increased thermal efficiency, while internal compression (1978) reduced reliance on external compressor equipment, lowering risks and operating costs [8]. Plate-fin heat exchangers are popular due to the high thermal conductivity of materials such as aluminum (204 W/(m·K) at 20°C), allowing for $\Delta T < 1$ K, although fouling can reduce the effective surface area [4].

Cascade cycles with precooling, Joule-Thomson (J-T) expansion, and turbo-expanders reduce energy consumption by 17%, confirming their effectiveness [1]. Integrating heat exchangers into argon separation processes in nitrogen-oxygen plants

increases energy efficiency [5]. Modern heat-integrated rectification columns utilize minimum pressure for uniform heat distribution across column segments, providing over 17% savings thanks to a non-equilibrium mass transfer model [6].

Exergy analysis, which determines the maximum useful work of the system, indicates losses of up to 30% in rectification columns, driving the optimization of system flexibility [7]. Integration with renewable energy contributes to sustainable development, while additive manufacturing allows for the creation of compact and efficient designs for columns and heat exchangers [8]. Three-column systems and flexible high-pressure processes (2012) reduce the need for additional compressors for small plants, increasing economic attractiveness [3]. Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) systems with ASU integration (Texaco, Shell, 1980s) increase efficiency to 41–43% due to hot gas cleaning and improved heat exchangers [6].

Combining adsorption processes with cryogenic columns effectively removes impurities, lowering energy consumption, although the reduction of phase contact surface area can affect separation quality [7]. Integrating heat exchangers into nitrogen systems ensures temperature stability, which is critical for continuous operation [8].

The direction of the proposed modernization is based on a comprehensive analysis of modern trends in cryogenic air separation, focusing on increasing energy efficiency through improved heat integration, reduced operating pressure, and refined plant structural elements [1], [4]. The proposed strategy envisages the development of a rectification column integrated with a heat exchanger, allowing for a reduction in energy consumption with estimated savings of 15–20% while ensuring stability and high quality of the final products [6], [7]. A key aspect of this modernization is increasing system flexibility and its ability to adapt to modern environmental and economic sustainability requirements, making it competitive on an industrial scale. Particular attention is paid to potential negative effects associated with reduced phase

contact surface area, which may lead to decreased mass transfer efficiency; specific compensation mechanisms are proposed to neutralize these effects [2]. The approach is based on synthesizing the historical principles laid down by Linde with modern technological achievements, specifically the use of structured packings, optimized condensers, cascade heat exchangers, and adsorption precoolers, to create a compact, energy-efficient, and high-performance system for modern industrial needs [3], [5], [8].

References

1. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.7, Cryogenics / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 325–326.
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.8, Distillation / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 155.
3. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology: vol.21, Centrifugal Separation / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 396.
4. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.12, Heat Transfer / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 481.
5. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.13, Helium Group Gases / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 4.
6. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.6, Gasification / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 267.
7. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.1, Adsorption / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 251.
8. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : vol.11, Nitrogen / John Wiley & Sons. – New York : Wiley Interscience, 1998. – C. 216.

UDC 66.045.1

MODERNIZATION OF THE HEAT EXCHANGER OF THE AIR SEPARATION UNIT

Student Stasiuk A. Y., associate professor Haidai S. S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *The efficiency of heat recovery in the Air Separation Unit was analyzed. A modernization of the tubular space of the heat exchanger by replacing smooth tubes with twisted type tubes was proposed. The thermohydraulic advantages of the new design, including high compactness and fouling mitigation, were substantiated..*

Keywords: HEAT EXCHANGER, TWISTED TUBE, AIR SEPARATION UNIT, HEAT TRANSFER ENHANCEMENT, SWIRL FLOW.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ РОЗДІЛЕННЯ ПОВІТРЯ

Студент Стасюк А.Ю., доцент, к.т.н. Гайдай С. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Проведено аналіз ефективності рекуперації тепла в установці розділення повітря. Запропоновано модернізацію трубного простору теплообмінника шляхом заміни гладких труб на труби скрученого типу. Обґрунтовано переваги нової конструкції, включаючи високу компактність та стійкість до забруднень.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛООБМІННИК, СКРУЧЕНА ТРУБА, ПОВІТРОРІЗДІЛЬНА УСТАНОВКА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ, ЗАКРУЧЕНИЙ ПОТІК.

Introduction. Heat exchange equipment plays a decisive role in the technological schemes of Air Separation Units (ASU) based on cryogenic rectification, ensuring deep cooling of the incoming compressed air stream to liquefaction temperatures.

The energy efficiency of the process is directly dependent on minimizing the temperature difference at the warm end of the apparatus and reducing hydraulic resistance. Standard shell-and-tube heat exchangers [1, p. 12] are characterized by operational reliability; however, the presence of segmental baffles creates "dead zones" with low heat transfer intensity and high hydraulic losses.

To address these issues, a modernization is proposed by introducing Twisted Tube technology, which replaces the conventional tube bundle with a self-supporting bundle of oval twisted tubes [2, p. 296].

The profile geometry of such a tube and the flow scheme are shown in Fig. 1.

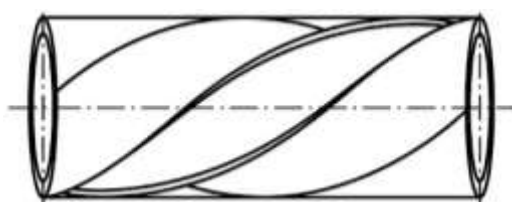


Fig. 1. Geometry of the twisted tube and flow scheme

Research and analysis. The geometric configuration of twisted tubes creates a unique hydraulic regime. According to recent studies [3, p. 10], the twisted tube acts as a swirl flow device that generates an active centrifugal force flow field. This force promotes radial velocity changes inside the tubes, disrupting the boundary laminar sublayer and significantly enhancing heat and mass transfer. A critical advantage highlighted in the literature [3, p. 7] is the fouling mitigation effect: the high turbulence and elimination of stagnant zones prevent particle deposition, ensuring stable long-term operation of the ASU. The thermohydraulic performance is quantified by the Nusselt number correlation described in mathematical models [4, p. 1133]:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left[1 + 3,74 \left(\frac{s}{d_{\max}} \right)^{-1} \right] \cdot \left(\frac{T_w}{T_b} \right)^n \quad (1)$$

where Re – Reynolds number; Pr – Prandtl number; s – tube twist pitch; $d_{\max}$ – maximum diameter of the oval profile; T_w and T_b – wall temperature and bulk mean temperature, respectively; n – experimental coefficient.

Which confirms that optimizing the twist pitch leads to higher convective heat transfer. Furthermore, the baffle-free design reduces the shell-side pressure drop compared to the zig-zag flow in conventional units.

Detailed calculations [4, p. 1134] indicate that the compactness factor for such exchangers exceeds 700 m²/m³, making them ideal for space-constrained Air Separation Units. Comparative analysis data [4, p. 1135] for identical operating conditions are presented in Table 1.

Table 1. Comparison of parameters of standard and modernized heat exchangers

Parameter, Symbol, Unit	Shell-and-Tube HE (Standard)	Twisted Tube HE (Modernized)
Heat duty Q , kW	4339	4339
Surface area A , m ²	0.30	0.46
Compactness Factor, m ² /m ³	< 500	> 700
Shell-side HTC h_o , W/(m ² · K)	3514	5675
Overall HTC U , W/(m ² · K)	892	1672
Pressure drop (shell) ΔP , kN/m ²	4.31	3.14

The modernization results in an 87% increase in the overall heat transfer coefficient U and a simultaneous reduction in shell-side pressure drop. This confirms

the theoretical findings [5, p. 38] that twisted tube technology offers superior energy recovery performance compared to conventional designs, allowing for flexible design optimization: either reducing the heat transfer area by up to 40% for the same duty or minimizing pumping costs.

A comparison of the hydrodynamic flow structure is shown in Fig. 2.

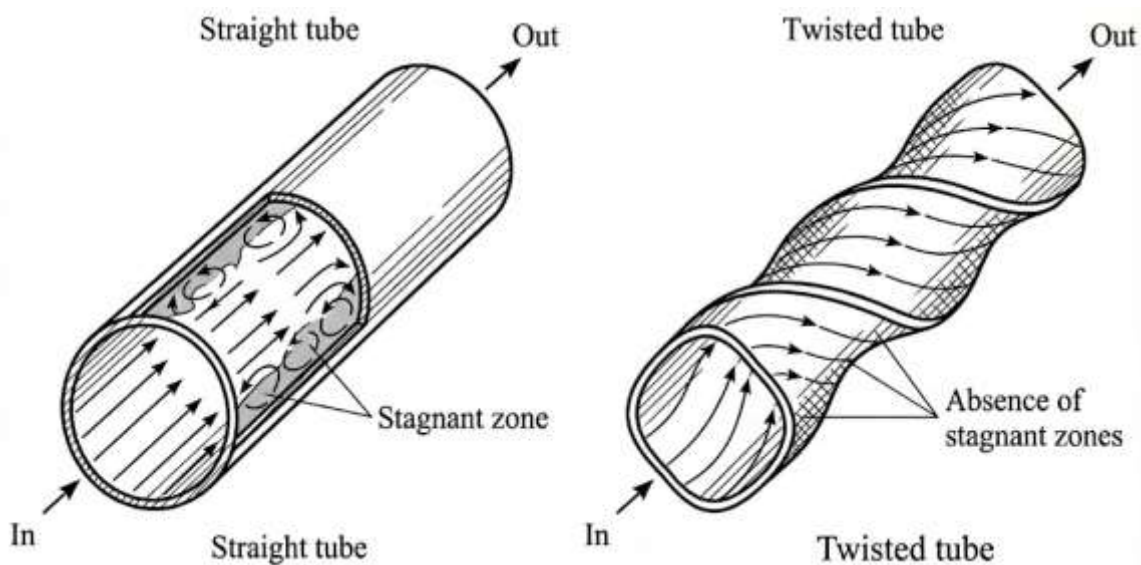


Fig. 2. Comparison of flow structures: absence of stagnant zones in Twisted Tube

Conclusions. The proposed modernization of the heat exchanger tube space is technically justified as it ensures intensification of heat transfer due to secondary swirl flows and boundary layer disruption, reduction of hydraulic resistance and pumping costs due to longitudinal flow, high compactness (greater than $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$) with self-cleaning properties due to the elimination of dead zones, and vibration resistance of the self-supporting tube bundle.

References

1. Andreev I. Design and calculation of shell-and-tube heat exchangers: study guide. Kyiv : Igor Sikorsky KPI, 2022. 140 p.

2. Pathade P., Singh A. Twisted Type Shell and Tube Heat Exchangers. International Journal of Engineering Development and Research. 2017. Vol. 5, Issue 2. P. 296–299. ISSN: 2321-9939.
3. Barraza-Colón J., Picón-Núñez M. Improved heat recovery using twisted tube exchanger technology. Cleaner Engineering and Technology. 2022. Vol. 10. 100557. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100557>.
4. Design, Fabrication and Performance of Twisted Tube Heat Exchanger / K. Patel et al. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2022. Vol. 10, Issue III. P. 1132–1135. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40836>.
5. Danielsen S. O. Investigation of a twisted-tube type shell-and-tube heat exchanger : Master of Science in Energy and Environment thesis. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology, 2009. 119 p.

UDC 66.048.3.

MODERNIZATION OF THE ETHANOL PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A DEPHLEGMATOR

Student Bohdanets M.G., associate professor Haidai S.S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT: *The technological scheme of ethyl alcohol production by the rectification method is considered. It has been determined that the rectification stage is the most energy-intensive. The necessity of modernizing the dephlegmator of the rectification column as a key apparatus for intensifying heat and mass transfer processes, improving product quality, and reducing specific energy consumption has been substantiated.*

KEYWORDS: *ETHANOL, DEPHLEGMATOR, RECTIFICATION, HEAT AND MASS TRANSFER, ENERGY EFFICIENCY.*

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ З РОЗРОБКОЮ ДЕФЛЕГМАТОРА

Студент Богданець М. Г., доцент, к.т.н. Гайдай С. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

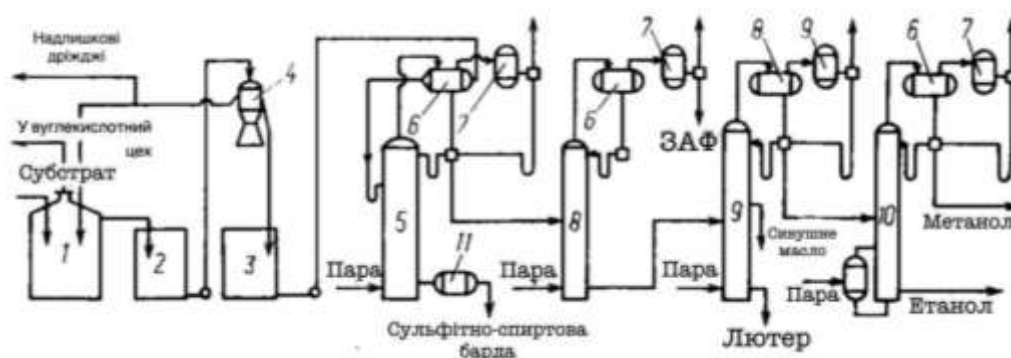
АНОТАЦІЯ: *Розглянуто технологічну схему виробництва етилового спирту методом ректифікації. Визначено, що етап ректифікації є найбільш енергоємним. Обґрунтовано необхідність модернізації дефлегматора ректифікаційної колони як ключового апарату для інтенсифікації*

тепломасообмінних процесів, підвищення якості продукту та зниження питомих енерговитрат.

КЮЧОВІ СЛОВА: ЕТАНОЛ, ДЕФЛЕГМАТОР, РЕКТИФІКАЦІЯ, ТЕПЛОМАСООБМІН, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

The increasing global demand for bioethanol and the need to improve energy efficiency in Ukrainian chemical industry plants necessitate modernization of technological units within rectification systems. The ethanol production process comprises feedstock preparation, fermentation (using the primary fermenter 1 and the after-fermenter 2) and an energy-intensive rectification stage, which largely determines the final product strength and purity.

The distillation system consists of the beer still (5), the purification (epuration) column (8), the rectification column (9), and the methanol removal column (10). This system ensures separation of the fermented mixture (stillage) and removal of impurities such as fusel oils and methanol. The dephlegmator (6) is a key heat-exchange device within the column system. Its function is to partially condense the rising vapour, return the liquid phase (reflux) to the column, and enrich the vapour with light components, primarily ethanol.



1 – primary fermenter; 2 – after-fermenter; 3 – sulfite-alcohol mash tank; 4 – separator; 5 – beer still; 6 – dephlegmator; 7 – condensers; 8-9 – rectification column; 10 – methanol column; 11 – heat exchanger

Figure 1 – Technological scheme of ethanol production

Operational studies at spirit production facilities indicate that an aged or technically suboptimal dephlegmator design results in reduced overall heat-transfer coefficients, increased reflux ratio, degraded mass-transfer conditions and, consequently, higher specific consumption of process steam. Under high throughput conditions, rectification units are sensitive to even moderate declines in heat-exchange performance, which negatively affects both the process energy metrics and the quality of the final product.

The objective of this work is the technical and scientific substantiation of a constructive modernization of the dephlegmator — one of the critical apparatuses within the rectification unit. A relevant direction is the thermal-engineering and structural design of an advanced-type dephlegmator, e.g., a film-type device or a unit incorporating enhanced internal elements (structured heat-transfer surfaces, turbulence-promoting inserts, microchannel geometries, etc.). Integration of the modernized dephlegmator can be implemented either in the beer column (5) or in the rectification column (9), depending on required fractionation regimes and thermal loads.

Expected outcomes include intensification of condensation and heat-and-mass transfer processes, reduction of the specific steam demand, improved separation selectivity and increased concentration of ethanol in the distillate. Modernization of the dephlegmator will contribute to decreased operational costs, increased energy efficiency of the rectification system and will deliver a measurable economic benefit to ethanol production plants.

References.

1. Маринченко, В. О., Домарецький, В. А., Шиян, П. Л. та інші. *Технологія спирту, лікєро-горілочаних напоїв та дріжджів у задачах і прикладах*. Київ: НУХТ, 2015. – 356 с.

УДК 676.024.5

СПОСОБИ ПЕРЕРОБКИ АСЕПТИЧНОЇ УПАКОВКИ

Т. Хатмуллін, магістрант, Р. Черьопкіна, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***Анотація.** Охарактеризовано ключові напрями переробки асептичної упаковки, спрямовані на зменшення обсягів відходів.*

METHODS OF RECYCLING ASEPTIC PACKAGING

T. Khatmullin, master, R. Cherepkina, Assoc. Prof.,

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

***Abstract.** The key directions of aseptic packaging recycling aimed at reducing the volume of waste are described.*

Вивчення потенціалу пакування з перероблених волокон дозволить забезпечити стійкий розвиток та основні аспекти циклічної економіки. Суть циклічної економіки полягає в орієнтації на багаторазове використання продуктів і матеріалів у безперервному циклі. Наприклад, дизайн і упаковка продуктів мають значні можливості для переходу до економіки замкнутого циклу.

Так, асептична упаковка завдяки багатошаровій комбінації паперу, полімерів та алюмінію забезпечує високу бар'єрність і тривале зберігання продуктів. Водночас її складна структура ускладнює утилізацію та переробку, що призводить до низького рівня повторного використання та зростання обсягів відходів.

За даними компанії "Tetra Pak" за 2024 рік було зібрано 1358 тис. т використаної упаковки, що становить лише 28% від загального обсягу

виробництва [1]. Такий невисокий рівень утилізації підкреслює складність її збору і переробки та актуальність пошуку ефективних технологічних рішень. У цьому контексті вирішальним є те, з чого саме складається такий тип пакування.

Типову структуру асептичної упаковки наведено на рисунку 1. Зовнішній шар поліетилену низької щільності (ПЕНЦ) захищає шар картону на який наноситься друк від вологи та забезпечує герметичність. Картон, що становить близько 75% маси, є дво- або тришаровим матеріалом з покривним шаром вибіленої целюлози та крейдувальним покриттям і часто містить ХТММ; він відповідає за механічну міцність конструкції. Оскільки картон не контактує з рідким продуктом, для його виробництва не застосовують водостійкі добавки [2].

До внутрішньої поверхні картону нанесено шар ПЕНЦ, що є основою для фіксації алюмінієвої фольги товщиною близько 6,35 мкм, яка забезпечує світловий та газовий бар'єр. Для адгезії фольги використовують шар поліетилен-ко-метакрилової кислоти, структурно спорідненої до ПЕНЦ. Внутрішній термозварювальний шар ПЕНЦ завершує структуру упаковки [2].

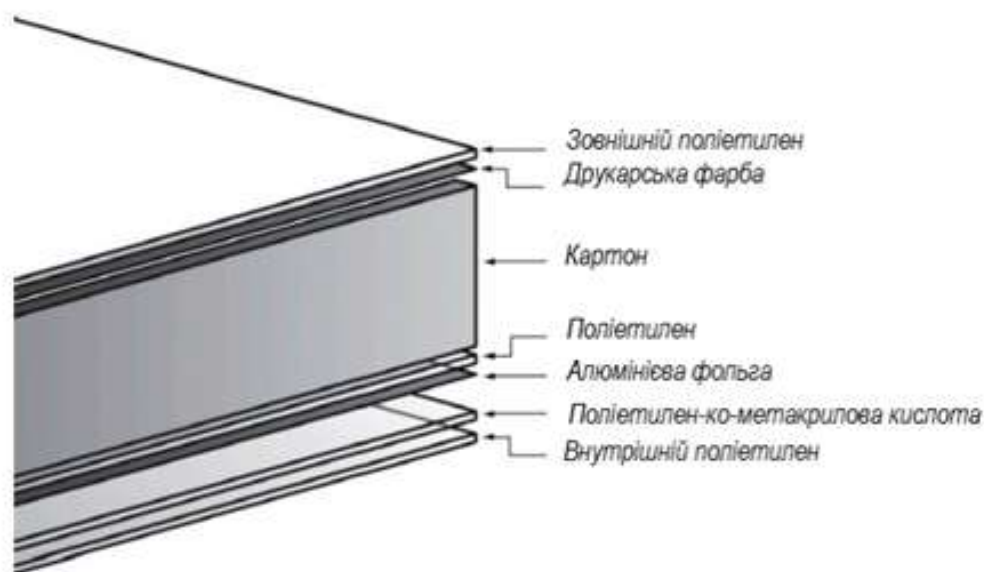


Рисунок 1 – Типова структура асептичної коробки

Метою роботи є аналіз існуючих методів переробки асептичної упаковки.

Перероблення такої тари традиційно поділяють на первинне, вторинне, третинне та четвертинне, проте для картонних асептичних упаковок найбільш практичне застосування саме вторинна переробка, оскільки повернути матеріал у початковий цикл використання технічно неможливо [2].

У наукових публікаціях підкреслюється, що вторинна переробка є найбільш поширеним варіантом для асептичної упаковки. Дослідження показують, що волокна картону ефективно відокремлюються від полімерно-алюмінієвого шару та можуть бути повторно використані у виробництві картонно-паперової продукції [2]. Також встановлено, що подрібнена упаковка, або окремі компоненти, придатні для будівельних матеріалів. У роботах продемонстровано їх здатність підвищувати міцність цементних бетонів та покращувати фізико-механічні властивості композитів [3, 4].

За даними досліджень, третинна переробка базується на хімічному розкладанні полімерів до їх базових мономерів або інших цінних продуктів. Показано, що поліетиленові шари асептичної упаковки можуть бути використані як субстрат для біоконверсії з утворенням біополімерів, зокрема полігідроксіалканоатів [5]. Також наведено ефективні стратегії хімічної деполімеризації та переробки багатошарових полімерних систем, що дозволяє повторно використовувати отримані хімічні компоненти для виробництва нових полімерних матеріалів [6].

У роботах з термохімічної переробки зазначено, що енергетичне відновлення є важливою альтернативою у випадках, коли механічна або хімічна переробка недоцільні. Піроліз полімерно-алюмінієвих залишків дає можливість отримувати газові та рідкі енергоносії, що можуть бути використані як паливні продукти [7]. Інші дослідження підтверджують доцільність спалювання або

термообробки композитних відходів з метою генерації теплової або електричної енергії [8,9].

Висновки. Результати дослідження показують, що ефективна переробка асептичної упаковки можлива лише за комплексного підходу, який охоплює механічні, хімічні та термохімічні методи. Дослідження підтверджують перспективність повторного використання волокон, переробки полімерно-алюмінієвих залишків та енергетичного відновлення, що разом сприяє зменшенню екологічного навантаження та підвищенню ресурсоефективності.

Список літератури:

1. Tetra Pak. Sustainability performance data [Електронний ресурс] / Tetra Pak. – Режим доступу: <https://www.tetrapak.com/en-us/sustainability/measuring-and-reporting/sustainability-performance-data> (дата звернення: 19.11.2025).
2. Robertson G. L. Recycling of Aseptic Beverage Cartons: A Review. Recycling, 2021, 6(1): 20. DOI: <https://doi.org/10.3390/recycling6010020>
3. Martínez-Barrera G., Barrera D., Díaz M. Waste Cellulose from Tetra Pak Packages as Reinforcement of Cement Concrete. Advances in Materials Science and Engineering, 2015: 682926. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/682926>
4. Isaza C., Buitrago A. Incorporation of Tetra Pak Waste into Construction Materials. Tecno Lógicas, 2020, 23(48): e16296. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.16296>
5. Ekere I., Johnston B., Tchuenbou-Magaia F. та ін. Bioconversion Process of Polyethylene from Waste Tetra Pak® Packaging to Polyhydroxyalkanoates. Polymers, 2022, 14(14): 2840. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14142840>
6. Chen L. et al. Chemical Recycling Strategies for Multilayer Packaging Waste. Polymers, 2024, 16(13): 1879. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16131879>
7. Hassan M. et al. Pyrolysis of PolyAl Residues from Aseptic Packages. Waste Management, 2022, 138: 239–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.007>

8. Zambrano L., Montealegre C. Energy Recovery from Composite Packaging Waste. Resour. Conserv. Recycl., 2020, 162: 105268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105268>

9. Jibril M. Thermal Treatment of Polymeric Waste for Heat Recovery. American Journal of Chemical Engineering, 2017, 5(3): 12. DOI: [10.11648/j.ajche.20170503.12](https://doi.org/10.11648/j.ajche.20170503.12)

УДК 66.07:661.9

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІЛОТНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСІВ ГІДРУВАННЯ ДВООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ВОДНЕМ

К.т.н. Цюпяшук А.М., к.т.н. Соловйов Г.І., к.т.н. Костогриз К.П.

Інститут газу Національної академії Наук України

АНОТАЦІЯ: *наголошено на необхідності досліджень заміщення традиційних палив альтернативними, показано особливості модернізованого пілотного стенду для дослідження кінетики реакції гідрування двооксиду вуглецю воднем, наведено його схему.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА, "POWER TO GAS", МЕТАНІЗАЦІЯ, ГЕТЕРОГЕННІ КАТАЛІЗАТОРИ.

RESEARCH OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN AN UPDATE APPARATUS WITH A CIRCULATING FLOW

Ph.D. Tsiupiaschuk A.M., Ph.D. Kostohryz K.P., Ph.D. Solovjov G.I.

Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

ABSTRACT: *The need for research into replacing traditional fuels with alternative fuels is emphasized, the features of a modernized pilot stand for researching the kinetics of the hydrogenation reaction of carbon dioxide with hydrogen is presented, its features are described.*

KEYWORDS: ALTERNATIVE FUELS, POWER TO GAS, METHANATION, HETEROGENEOUS CATALYSTS.

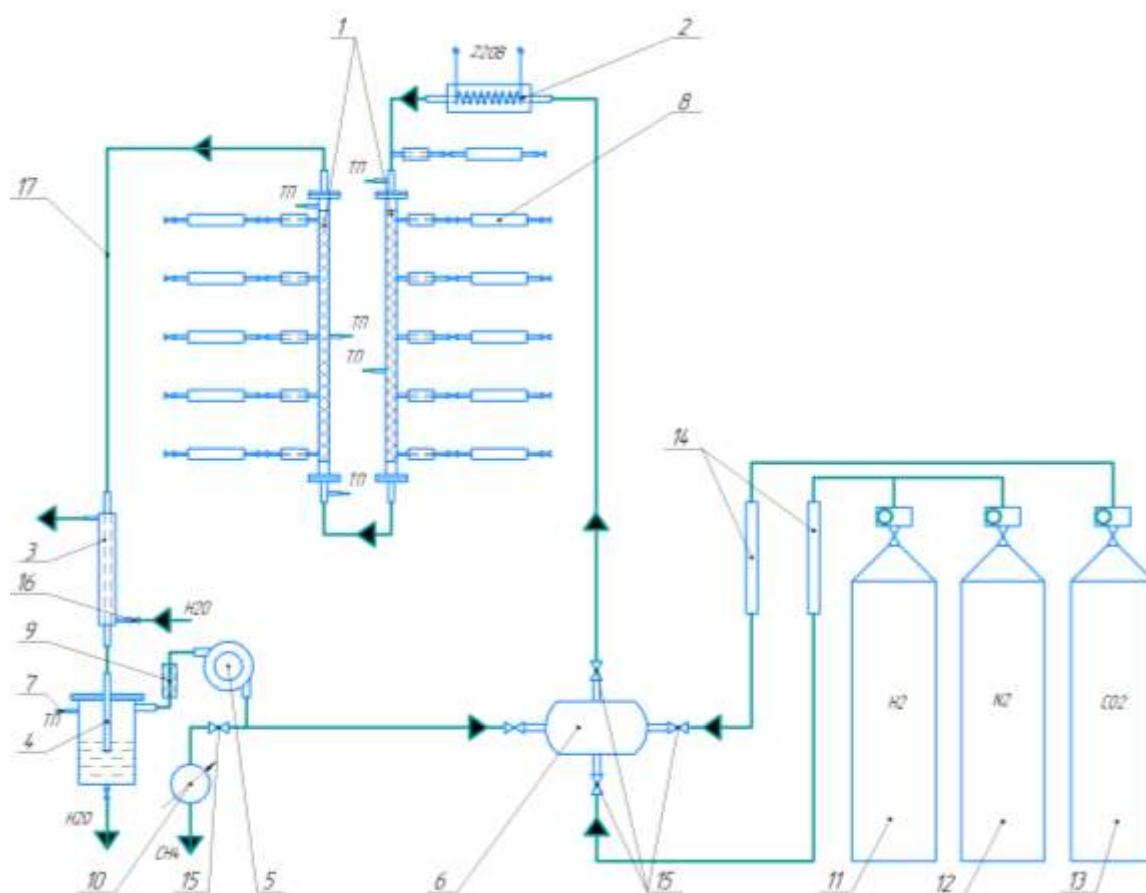
В умовах сьогодення, технології широкого застосування альтернативних палив необхідно використовувати як елемент, що забезпечить енергетичну стійкість України [1]. Для декарбонізації основним необхідним елементом є

технологія "power to gas" [2], яка забезпечує перетворення двооксиду вуглецю на метан шляхом його метанізації «зеленим» воднем: $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CH}_4$. Дана технологія може застосовуватись як для «зв'язування» вловленого CO_2 так і для акумулювання електричної енергії. Наприклад, її можна використовувати для очищення біогазу до стану, який відповідає вимогам «Технічного регламенту природного газу» по остаточному вмісту CO_2 (не більше 2,5%).

Для дослідження гетерогенних каталізаторів в Інституті газу НАН України виконуються дослідження процесів кінетики каталізу з подальшим розробленням оптимальних технологій та процесів декарбонізації [3, 4]. Проведено глибоку модернізацію пілотного стенду для дослідження кінетики процесів гідрування двооксиду вуглецю воднем (реакція «Сабатьє»). Пілотний стенд (рис. 1) розміщено на металевому каркасі. Основою стенду є каталітичний реактор повного перемішування 1, який складається з двох секцій по 1,7 м довжиною, діаметром 55 мм. Реактор завантажений гранульованим серійним Ni каталізатором (марки ГАП-3-6Н) Ø15x15 мм, загальна висота шару каталізатора складає 3 м.

На стенді передбачено безперервне вимірювання температури у шести точках та одинадцять точок відбору проб синтетичного газу для наступного його аналізу у газоаналітичній лабораторії Інституту газу НАН України.

Даний пілотний стенд є універсальним, він може збиратися в декількох варіантах, які відрізнятимуться один від одного розмірами та взаємним розташуванням елементів, для забезпечення проведення досліджень з каталізаторами вітчизняними та закордонними аналогами з різними форм-факторами гранул. Стенді дозволяє проводити широкий спектр досліджень з кінетики каталізу.



1 – пілотний реактор; 2 – електричний нагрівач;

3 – теплообмінник-конденсатор; 4 – сепаратор; 5 – компресор; 6 – ресивер-накопичувач; 7 – термопари; 8 – пробовідбірники; 9 – осушувач газу; 10 – лічильник газовий; 11 – балон водневий з редуктором; 12 – балон азотний з редуктором; 13 – балон вуглекислотний з редуктором; 14 – ротаметри; 15 – крани газові; 16 – крани; 17 – газоходи

Рисунок 1 – Пілотний стенд

Перелік посилань

1. Басок Б.І. Воднева енергетика і не тільки: «pro» та «contra». Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Костогриз К.П., & Ільєнко Б.К. // Енерготехнології та ресурсозбереження. - 2024, № 2(79), с.110-125.
<https://doi.org/10.33070/etars.2.2024.08>.

2. Gotz M., Lefebvre J., Mors F., Koch A.M., Graf F., Bajohr S., Reimert

R., Kolb T. Renewable power-togas: A technological and economic review. Renewable Energy, 85, pp. 1371-1390, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>

3. А.М. Цюпяшук. Розробка енергозберігаючої технології виробництва синтетичного метану з диоксиду вуглецю. 1. Дослідження кінетики та макрокінетики реакції Сабатьє на каталізаторах NI/A-AL₂O₃. А.М. Цюпяшук, К.П. Костоґриз, В.В. Колесник, Г.І. Соловійов // Енерготехнології та ресурсозбереження. - 2024, № 3(80), с.94-108. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.06>.

4. А.М. Цюпяшук. Пілотний стенд для дослідження процесів гідрування двооксиду вуглецю воднем, К.П. Костоґриз, Г.І. Соловійов // «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання»: Збірник тез доповідей XXVII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, (28 листопада 2024р., Київ). – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024р.

References

1. Gotz M., Lefebvre J., Mors F., Koch A.M., Graf F., Bajohr S., Reimert R., Kolb T. Renewable power-togas: A technological and economic review. Renewable Energy, 85, pp. 1371-1390, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>

2. Basok B.I. Hydrogen energy and not only: "pro" and "contra". Basok B.I., Bazeev Y.T., Kostogryz K.P., & Ilyenko B.K. // Energy technologies and resource conservation. - 2024, No. 2(79), pp. 110-125. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2024.08>.

3. A.M. Tsyupyashuk Development of energy-saving technology for the production of synthetic methane from carbon dioxide. 1. Study of the kinetics and macrokinetics of the Sabatier reaction on NI/A-AL₂O₃ catalysts. A.M. Tsyupyashuk, K.P. Kostogriz, V.V. Kolesnyk, G.I. Solovyov // Energy technologies and resource conservation. - 2024, No. 3(80), pp. 94-108. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.06>.

4. Tsiupiashuk A.M. Research of heat and mass exchange processes in an

apparatus with a circulating flow. Kostohryz K.P., Solovjov G.I. // "Resource-Energy-Saving Technologies and Equipment": Collection of Abstracts of the XXVII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists, (November 28, 2024, Kyiv). – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024.

MODERNIZATION OF POLYMER GASOLINE PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR REACTOR AND HEAT EXCHANGER

student Nefyodova K.V., Ph.D., associate professor Stepanyuk A. R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Annotation: *This work proposes the improvement of a tubular reactor by introducing helical baffles to intensify heat transfer and implementing a hydro-pigging system for in-line tube cleaning without dismantling. These solutions make it possible to reduce downtime, extend the overhaul interval, and enhance the reliability and environmental performance of the production process.*

KEYWORDS: POLYMER GASOLINE, MODERNIZATION, TUBULAR REACTOR, HELICAL BAFFLES, HYDRO-PIGGING, HEAT TRANSFER, POLYMERIZATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРБЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ ТРУБЧАСТОГО РЕАКТОРА ТА ТЕПЛООБМІННИКА

студентка Нефьодова К.В., к.т.н., доцент Степанюк А. Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *У роботі запропоновано вдосконалення трубчастого реактора шляхом використання гвинтових перегородок для інтенсифікації теплообміну та впровадження системи гідропіггінгу для оперативного очищення труб без демонтажу. Застосовані рішення дозволяють знизити*

простой, продовжити міжремонтний період і підвищити надійність та екологічність виробництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛІМЕРБЕНЗИН, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТРУБЧАСТИЙ РЕАКТОР, ГВИНТОВІ ПЕРЕГОРОДКИ, ГІДРОПІГІНГ, ТЕПЛООБМІН, ПОЛІМЕРИЗАЦІЯ.

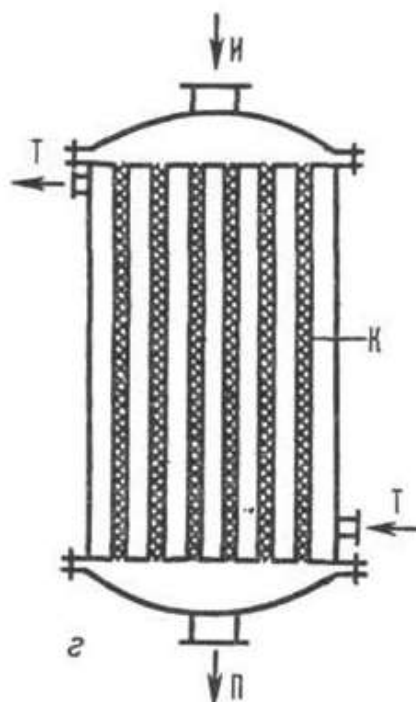
Polymer gasoline is an important product of the petrochemical industry, used for the production of plastics, rubbers, solvents and as a component of specialty fuels. Its high octane number and stable physicochemical properties make it indispensable in various areas of chemical production. The increasing demand for high-quality raw materials necessitates the modernization of technological installations to optimize the processes of obtaining polymer gasoline, which will improve the quality of the final product, reduce energy costs, and ensure the competitiveness of production [1].

Polymer gasoline is produced by polymerization of unsaturated hydrocarbons (ethylene, propylene, isobutylene) in the presence of a catalyst. The raw material, mixed with the recycled butane-butylene fraction, is fed into a tubular reactor, where an exothermic polymerization reaction occurs. The reaction products enter the distillation columns for separation: unprocessed raw materials are selected from the top for recycling, and light and heavy polymer distillates, which are components of polymer gasoline, are selected from the bottom. The technological scheme provides a continuous process, which allows obtaining a product of stable quality.

A tubular reactor is structurally similar to a shell-and-tube heat exchanger (see Fig. 1). In a tubular reactor, gas-phase reactants are supplied through the tubes, and the coolant is supplied through the intertube space [2].

This design allows:

- to maintain the required temperature regime;
- to avoid overheating and uncontrolled reactions;
- to ensure the continuity of the process due to stable cooling.



- 1 – Raw material inlet; 2 – Catalyst tubes; 3 – Cooler;
4 – Product outlet

Figure 1 – Polymerization reactor pattern

Modernization of the tubular reactor involves the implementation of two key technical solutions aimed at increasing its efficiency and reducing operating costs. The first step is the installation of helical baffles in the intertube space (see Fig. 2). This design solution allows the coolant flow to be directed along a spiral trajectory along the tube bundle. This eliminates stagnant zones, where uneven temperature distribution usually occurs, evens out the thermal regime, and significantly increases the efficiency of heat removal. This is especially important for exothermic polymerization processes, where temperature control determines the stability of the reaction and the quality of the final product.

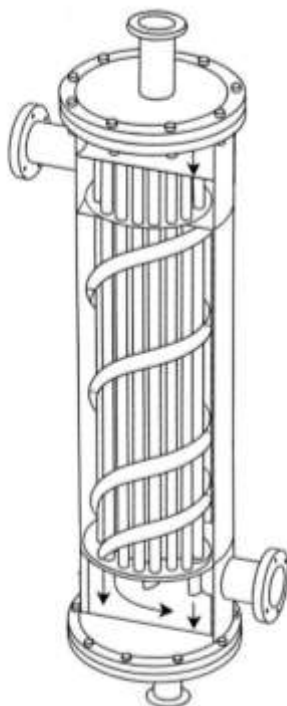


Figure 2 – Polymerization reactor modernization pattern

The second element of the modernization is the implementation of a hydropigging system for the reactor tubes. This involves special nozzles for launching and receiving “pigs” — rubber or polyurethane cleaning elements. They move inside the tubes under the action of the flow and effectively remove polymer deposits from the inner surface. This approach allows cleaning to be carried out without dismantling the reactor and without long production stops, which significantly reduces downtime and maintenance costs.

The expected result of the modernization is to increase the heat transfer coefficient by 20–30%, ensure a stable temperature regime and uniform heat distribution along the entire length of the reactor, and reduce the risk of uncontrolled polymerization and side reactions. In addition, it is expected to reduce downtime and increase the period between repairs, which in the complex ensures energy savings and improved quality of the final product. Thus, the proposed design improvements allow

to make the operation of the tubular reactor more efficient, reliable and economically feasible.

List of links

3. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Science and Technology" (September 22-24, 2025, Tallinn, Estonia). European Open Science Space, 2025. 150 p.
4. Processes and devices of modern chemical technology: Textbook / V. I. Boyko, Yu. A. Shaforost. - Cherkasy: Publishing Department of the Chernivtsi National University, 2013. – 88p.

УДК 541.64

МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕАКТОРА-ПОЛІМЕРИЗАТОРА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОЛІСТИРОЛУ

студент Єрьоменко М. А., асистент Подиман Г. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: У даній роботі розглянуто напрями модернізації реактора-полімеризатора, що використовується у виробництві полістиролу, з урахуванням підвищення ефективності полімеризаційного процесу та покращення теплового режиму апарата. теплообміну та підвищенню енергетичної ефективності виробництва. Обґрунтовано основні технічні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності та надійності роботи обладнання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕАКТОР-ПОЛІМЕРИЗАТОР, ПОЛІСТИРОЛ, ТЕПЛООБМІН, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА

MODERNIZATION OF THE REACTOR-POLYMERIZER IN POLYSTYRENE PRODUCTION

student M. A. Eremenko, assistant, PhD, H. S. Podyman

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: This paper considers the directions of modernization of the reactor-polymerizer used in the production of polystyrene, taking into account the increase in the efficiency of the polymerization process and the improvement of the thermal regime of the apparatus. Heat exchange and increasing the energy efficiency of production. The main technical solutions aimed at increasing the productivity and reliability of the equipment are substantiated.

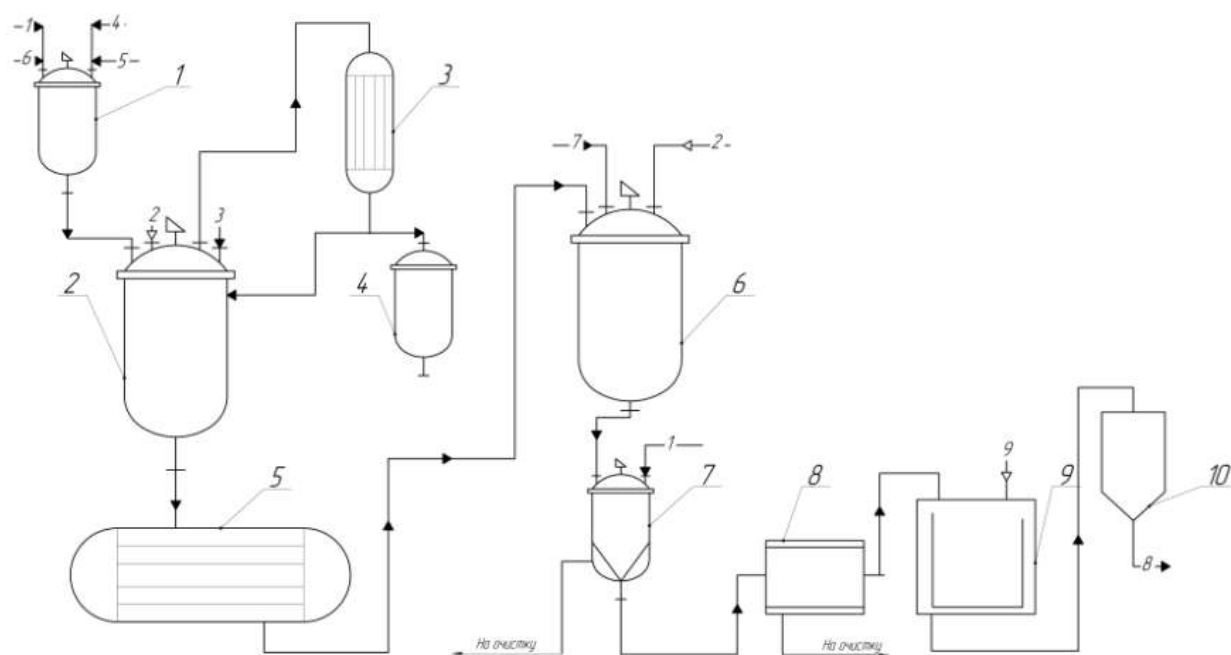
KEYWORDS: REACTOR-POLYMERIZER, POLYSTYRENE, HEAT EXCHANGE, MODERNIZATION, TECHNOLOGICAL SCHEME

Полістирол – це синтетичний полімер, який належить до групи полімерів стиролу. Він утворюється шляхом полімеризації стиролу, що є ароматичним вуглеводнем. Основними властивостями полістерилу є висока хімічна стійкість, низька водопроникність, легкість, прозорість, а також хороші діелектричні характеристики. Матеріал відзначається термопластичністю, що дозволяє йому піддаватися термоформуванню, литтю та екструзії. Полістерил має гарну механічну міцність при невеликій вазі, стійкий до дії кислот та лужних розчинів, проте є чутливим до органічних розчинників, таких як ацетон або бензин. Він не розкладається у звичайних умовах і може використовуватися при температурах до 80–100 °C без втрати своїх властивостей [1].

Значення полістерилу важливе у промисловості та побуті, оскільки він застосовується для виробництва пакувальних матеріалів, ізоляційних плит, одноразового посуду, контейнерів, корпусів побутової техніки, іграшок та різних декоративних виробів. Поширення полістерилу у світі велике завдяки його універсальності, економічності та простоті обробки.

Основним методом добування полістерилу є радикальна полімеризація стиролу у присутності ініціаторів полімеризації, таких як пероксиди або азобіслінітили. Полістерил може отримуватися як у вигляді гранул для подальшого лиття або екструзії, так і у вигляді пінополістиролу шляхом введення газоутворюючих агентів, що дозволяє отримати матеріали з пористою структурою, широко використовувані в теплої звукоізоляції. Загалом, полістерил є одним із найпоширеніших і найбільш універсальних полімерів сучасної промисловості.

На рисунку 1 наведена схема виробництва полістиролу в емульсії періодичним методом [2].



1 - апарат для виготовлення водної фази; 2 - реактор; 3 - холодильник;
4 - приймач; 5 - збірка латексу; 6 - осадник; 7 - промивач; 8 - центрифуга;
9 - сушарка; 10 – бункер

Рисунок 1 – Схема виробництва полістиролу в емульсії періодичним методом

В апараті 1 готують водну фазу - розчин у демінералізованій воді емульгатора (олеату натрію), ініціатора (персульфату калію) і різних добавок - і зливають її в реактор 2. Емульсію готують введенням стиrolу при сильному перемішуванні рамно-лопатевої або турбінної мішал.

Вміст реактора 2 нагрівають до 70-95°C процес проводять протягом 1,5 год. Холодильник 3, з'єднаний з реактором 2, працює як зворотний і забезпечує повернення сконденсованих парів водно-стирольної суміші. При залишковому вмісті стиrolу, що не прореагував, не більше 0,5 % процес припиняють.

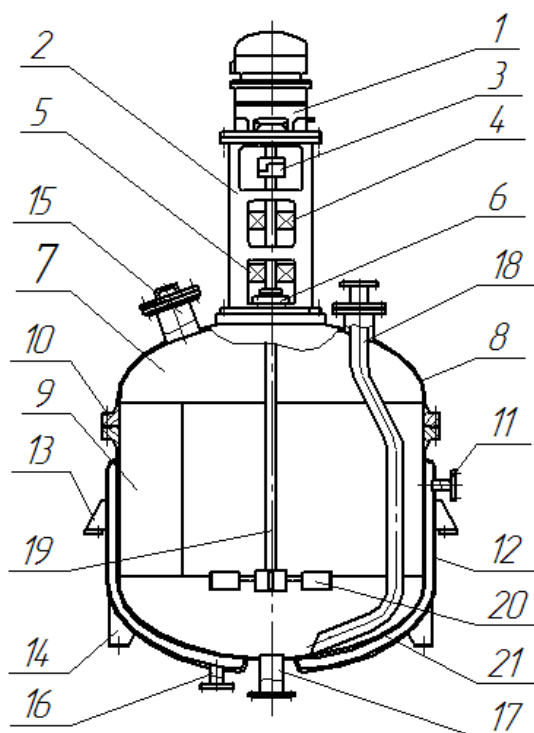
В результаті емульсійної полімеризації стиrolу утворюється стійка дисперсія полімеру білого кольору — латекс, з якого гострим паром відганяють вільний стиrol, що збирається в приймач 4. Латекс охолоджують до 50 °C і зливають у збірник 5. Виділення полімеру з латексу проводять в облогу галунів

$AlK(SO_4)_2$. Електроліт 1 порушує стійкість латексу і викликає випадання частинок полімеру (коагуляцію). Завершення цього процесу проводять при нагріванні латексу гострим паром через барботер до 85-90 °С при перемішуванні мішалкою протягом 1,5-2 год.

З осадителя 6 дисперсія полімеру надходить у промивач 7 - апарат з хибним конічним днищем, з рампою мішалкою. Після фільтрування водний розчин надходить на очищення, а полімер промивають при перемішуванні свіжою порцією гарячої води температурою 70-80°C. Після 3-5 промивок змучену у воді дисперсію полімеру подають на центрифугу 8 більш повного зневоднення. Порошок ПС з вологістю до 60% надходить у сушарку 9, а після сушіння з вологістю близько 0,5% - в бункер 10. Потім висушений ПС просіюють на ситі і гранулюють [2].

Реактор є основним апаратом (рисунок 2), у якому проводять процес емульсійної полімеризації стиролу. Це вертикальний циліндричний апарат, оснащений сорочкою для нагрівання та охолодження, а також потужним перемішувальним пристроєм. Корпус реактора виготовляють з корозійностійкої нержавіючої сталі (типу 08X18H10 або 12X18H10T), оскільки в реакційній масі присутні стирол, розчин емульгатора та ініціатора, які потребують хімічно інертних матеріалів. Допускається також виготовлення з вуглецевої сталі з емалевим або полімерним захисним покриттям внутрішньої поверхні.

У верхній частині реактора передбачені штуцери для подавання стиролу, контролю тиску та температури, а також патрубок для під'єднання холодильника, який працює у режимі зворотника й повертає сконденсовані пари назад у робочу зону. У нижній частині розташовано зливний патрубок та можливий штуцер для циркуляції теплоносія у разі застосування змішувальної системи нагріву [3].



1 – мотор-редуктор; 2- стійка приводу; 3 - сполучна муфта; 4 - опорно-упорний підшипник; 5 – радіальний підшипник; 6 – ущільнювальний пристрій; 7 – корпус апарату; 8 – кришка; 9 - обичайка; 10 – фланці; 11 - штуцер подачі теплоносія (пара); 12 – сорочка; 13 - опорна лапа; 14 – стійка; 15 – люк; 6 – штуцер виведення конденсату; 17 - штуцер виведення продукту, 18 – труба передавлювання; 19 – вал мішалки; 20 – мішалка; 21 – днище

Рисунок 2 – Апарат з механічним пристроєм

Всередині реактора встановлена мішалка рамно-лопатевого або турбінного типу. Рамно-лопатева мішалка забезпечує активне перемішування у великому об'ємі й створює ефективний макропотік, який рівномірно розподіляє краплі стиролу у водній фазі. Турбінна мішалка створює зону інтенсивного зсуву і сприяє диспергуванню мономеру на дрібні краплі, що є необхідним для утворення стійкої емульсії. Вибір типу мішалки залежить від продуктивності реактора і необхідного ступеня дисперсності. Мішалка приводиться в дію електродвигуном через редуктор, швидкість обертання якого може регулюватися для підтримання оптимального режиму емульгування.

Принцип роботи реактора полягає у введенні в нього водної фази, яка містить емульгатор, ініціатор та інші добавки, після чого при перемішуванні подають стирол. Мішалка забезпечує інтенсивне утворення емульсії, в якій мономер рівномірно розподілений у вигляді дрібних крапель. Після цього реакційну масу нагрівають у сорочці до 70–95 °С, що забезпечує початок і перебіг полімеризації. Під час нагрівання утворюються пари води та стиролу, які надходять у холодильник, конденсуються та повертаються назад у реактор, що запобігає втратам мономеру.

Протягом усього процесу забезпечується рівномірний розподіл тепла та маси, контроль температури і перемішування, що необхідно для стабільності полімеризації [4].

Використані джерела:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу "Хімія високомолекулярних сполук". Реакції полімеризації. Одержання полістиролу / Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Факультет природничих наук, Кафедра хімії середовища та хімічної освіти. — Івано-Франківськ, 2018. — 15 с. URL: https://fpn.cnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/14/2020/02/Лп_1.pdf (дата звернення: 28.11.2025).
2. Kirk/Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 1: A to Alkaloids. Vol. 2: Alkanolamines to Antibiotics (Glycopeptides). 4th Edition.
3. Майорова, Н.О. Теплообмінне обладнання хімічних виробництв: підручник / Н.О. Майорова. — К.: Вища школа, 2013. — 380 с.
4. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть М.: Химия. 1995. — 400 с. ISBN 5–7245–1006–5.

UDC 678.674:547.458

FEATURES OF PRACTICAL APPLICATION OF STARCH-BASED BIODEGRADABLE FILMS

assistant Byshko Mykyta.

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

ABSTRACT: Starch-based biodegradable films plasticized with glycerol are promising materials for replacing conventional petroleum-based polymers in short-life applications. This paper analyzes the main practical fields of their application, including food packaging, agriculture, medicine and paper coating, and discusses their functional properties and limitations.

KEY WORDS: STARCH-BASED FILMS, BIODEGRADABLE MATERIALS, POTATO STARCH, CORN STARCH, GLYCEROL PLASTICIZER, PRACTICAL APPLICATION, BARRIER PROPERTIES, MECHANICAL PROPERTIES

ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ БІОРОЗКЛАДНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ КРОХМАЛЮ

асистент Бишко М.А.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: Біорозкладні плівки на основі картопляного та кукурудзяного крохмалю, пластифіковані гліцерином, розглядаються як альтернатива традиційним нафтохімічним полімерам у виробках з коротким терміном служби. У роботі узагальнено основні напрями їх практичного застосування: пакувальні матеріали для харчових продуктів, агроплівки, медичні та фармацевтичні системи, покриття для паперу та картону.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОРОЗКЛАДНІ ПЛІВКИ, КРОХМАЛЬ, КАРТОПЛЯНИЙ КРОХМАЛЬ, КУКУРУДЗЯНИЙ КРОХМАЛЬ, ГЛІЦЕРИН,

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ, БАР'ЄРНІ ВЛАСТИВОСТІ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Активний розвиток біорозкладних полімерних матеріалів зумовлений посиленням екологічних вимог до пакувальної та полімерної продукції, а також необхідністю зменшення обсягів пластикових відходів [5; 7]. Одним із найбільш доступних та відновлюваних джерел сировини для створення біополімерів є крохмаль, зокрема картопляний та кукурудзяний [3; 5].

Під час отримання термопластичного крохмалю (ТПК) гранули крохмалю втрачають свою півкристалічну структуру і перетворюються на безперервну матрицю під впливом механічного впливу, тепла та пластифікаторів [2].

Практичне застосування крохмальних біорозкладних плівок у пакуванні харчових продуктів

Найбільш розповсюдженою сферою застосування біорозкладних крохмальних плівок є харчове пакування [1; 4; 6]. Такі плівки використовують:

- як самостійні пакувальні матеріали для продуктів із коротким терміном зберігання (овочі, фрукти, хлібобулочні вироби, снеки);
- як внутрішні пакувальні вкладиші та обгортки, що контактують із продуктом;
- як покриття на паперовій або картонній основі для створення комбінованої біорозкладної упаковки [2].

Крохмальні плівки, пластифіковані гліцерином, забезпечують прийнятний рівень механічної міцності та еластичності для пакування легких продуктів. Їх головною особливістю є біорозкладність у компостних умовах та можливість переробки разом із паперовою основою у разі використання як покриття [2; 5].

Водночас підвищена чутливість до вологи обмежує використання таких плівок для жирних та вологих продуктів без додаткових модифікацій (сополімерація, введення гідрофобних добавок, нанесення багат шарових

покриттів) [7]. Дослідження показують, що введення ліпідів у крохмальну матрицю може зменшити проникність кисню в сім разів. Крім того, додавання композитних елементів з целюлози або нанокompозитів може значно підвищити як механічні властивості, так і бар'єрні характеристики плівок [1; 7].

Біорозкладні крохмальні плівки в сільському господарстві

У сільському господарстві біорозкладні плівки на основі крохмалю застосовують у вигляді [5; 7]:

- мульчувальних плівок для покриття ґрунту;
- плівок для парників та теплиць короткострокового використання;
- пакувальних матеріалів для добрив і насіння, призначених для швидкого розкладання у ґрунті.

Особливість практичного застосування мульчувальних крохмальних плівок полягає в тому, що після завершення сезону вони можуть бути залишені на полі та під дією мікроорганізмів поступово розкладатися до нетоксичних продуктів [5; 7]. Це дозволяє уникнути трудомісткого збирання залишків традиційних поліетиленових плівок. На відміну від традиційних пластикових мульчувальних плівок, біорозкладні агроплівки повністю розкладаються у CO₂, воду та біомасу, що багатить ґрунт поживними речовинами.

Важливими експлуатаційними вимогами до агроплівок є [3; 5; 7]:

- достатня механічна міцність на розрив та прокол під час укладання;
- стабільність до атмосферних впливів (опаді, ультрафіолетове випромінювання) протягом вегетаційного періоду;
- контрольована швидкість біодеструкції, що узгоджується з тривалістю вирощування культури.

Співвідношення крохмалю та гліцерину, а також наявність модифікуючих добавок (наприклад, біополіестерів) дозволяє регулювати час руйнування плівки в ґрунті [3; 5].

Медичні та фармацевтичні застосування крохмальних плівок

Завдяки біосумісності та відсутності токсичних компонентів плівки на основі крохмалю, пластифіковані гліцерином, знаходять застосування у медичній та фармацевтичній галузях:

- у вигляді тонких плівкових покриттів для таблеток, що забезпечують контрольоване вивільнення діючої речовини;
- як матеріали для виготовлення тимчасових ранових покриттів і пов'язок, які поступово розкладаються;
- як складові біополімерних систем доставки ліків.

Особливості практичного використання в медицині пов'язані з необхідністю забезпечення стерильності, передбачуваності, швидкості деградації та відсутності небажаних продуктів розкладання. Це вимагає ретельного підбору чистоти крохмалю, вмісту гліцерину та режимів термообробки плівки. Крохмаль не завдає шкоди живим тканинам, що робить його безпечним для медичних застосувань.

Функціональні властивості та обмеження крохмальних біорозкладних плівок

До ключових експлуатаційних властивостей крохмальних плівок, що визначають сфери їх практичного застосування, належать [1; 2; 4; 6]:

- механічні властивості (міцність на розрив, відносне подовження при розриві, жорсткість, модуль пружності);
- бар'єрні характеристики (проникність для водяної пари та газів – кисню, діоксиду вуглецю);
- стійкість до вологи та температури;
- швидкість біодеструкції в заданих умовах (компост, ґрунт, водне середовище).

Високий вміст гідрофільних груп зумовлює позитивні бар'єрні властивості щодо кисню, але водночас високу проникність для водяної пари [4].

Дослідження показали, що проникність крохмальних плівок щодо кисню залежить від вмісту пластифікатора та вологості в матеріалі.

Це обмежує використання крохмальних плівок для продуктів, чутливих до зволоження, без додаткової модифікації.

Серед основних обмежень практичного застосування слід відзначити [3; 5]:

- чутливість до вологості навколишнього середовища;
- нижчу термостійкість порівняно з традиційними термопластами;
- інколи недостатню механічну міцність для важких або гострокутих об'єктів;
- підвищену жорсткість при низьких температурах.

Механічні властивості крохмальних плівок суттєво залежать від типу використаного пластифікатора та температури обробки. Міцність та модуль пружності збільшуються зі зростанням температури коалесценції до певної точки, а потім знижуються [2; 4].

Висновки

Біорозкладні плівки на основі крохмалю, пластифіковані гліцерином, є перспективними матеріалами для застосування у пакуванні харчових продуктів, сільському господарстві, медицині. Особливості їх практичного використання визначаються комплексом властивостей: механічною міцністю, бар'єрними характеристиками, стійкістю до вологості та швидкістю біодеструкції, які залежать від типу крохмалю, вмісту гліцерину та технології отримання плівки. Основними перевагами крохмальних плівок є відновлювана сировинна база, біорозкладність та відсутність токсичних продуктів розкладання, тоді як обмеження пов'язані з гідрофільністю та відносно низькою термостійкістю.

Список використаної літератури

1. Biodegradable Starch-Based Nanocomposite Films with Exceptional Water and Oxygen Barrier Properties / M. Dong et al. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2024. Vol. 12, No. 27. P. 10345–10356. DOI: 10.1021/acssuschemeng.4c04198

2. Functionality and Applicability of Starch-Based Films / S. Bangar et al. Foods. 2021. Vol. 10, No. 9. P. 2181. DOI: 10.3390/foods10092181
3. Особливості модифікування крохмалю для створення полімерних композитів [Features of starch modification for creating polymer composites] / Б. І. Куліш, Б. В. Левицький, А. С. Масюк, В. Є. Левицький, В. М. Земке: Збірник праць Львівської Політехніки "Chemistry, Technology and Application of Substances". 2023. Vol. 6, No.2 . P. 77–84. DOI: 10.23939/ctas2023.02.145
4. Gas transport properties of starch based films / P. Dole, C. Joly, E. Espuche, I. Alric, N. Gontard. Carbohydrate Polymers. 2000. Vol. 58, No. 3. P. 335–243. DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.08.002
5. A review on the application of starch in biodegradable film and mulch film: Focus on mechanical and barrier properties for agriculture / M. Wang, Y. Zhang, J. Li, L. Guan. International Journal of Biological Macromolecules. 2025. Vol. 330, No. 3. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.145915
6. A Review on Biopolymer-Based Biodegradable Film for Food Packaging / A. Dirpan, A. Fadiyah Ainani, M. Djalal. Polymers. 2023. Vol. 15, No. 13. P. 2781. DOI: 10.3390/polym15132781
7. Biodegradable plastic mulch films in agriculture: feasibility and challenges / E. Liu, L. Zhang, W. Dong, C. Yan: Environmental Research Letters, 2021. Vol. 16, No. 1, DOI: 10.1088/1748-9326/abd211

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

MODERNIZATION OF THE HEAT EXCHANGER WITH THE DEVELOPMENT OF AN AMMONIUM NITRATE PRODUCTION PLANT

Tishchenko O. S., Novokhat O. A. 4

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Гулієнко С.В., Менько Д. І. 10

CONCEPTUAL PROVISIONS REGARDING THE UTILIZATION OF WET BIOMASS WASTE

Kremnev V., Timoshchenko A., Belyaev G., Belyaeva I., Korbut N., Stetsuk V., Zhukov K. 14

WATER VAPOR AND PARTICULATE MATTER CAPTURE FROM THE GAS STREAM IN THE PACKED BED SCRUBBER

Ivan Tisnyi, Andriy Stepaniuk 18

INNOVATIVE APPROACHES TO THE PRODUCTION OF MASTERBATCH SUPERCONCENTRATES OF COLORANTS FOR POLYMERS VIA EXTRUSION

Vitalii Denysiuk, Mykola Shved, Dmytro Shved 22

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВІДНОВЛЕННЯ АЦЕТИЛЕНУ З РОЗРОБКОЮ ХОЛОДИЛЬНИКА

Пашенько В.М., Гулієнко С.В. 30

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГРІВАЧА ВИРОБНИЦТВА ФОРМАЛІНУ ОКИСНЕННЯМ МЕТИЛОВОГО СПИРТ

Матвійчук В. С., Подиман Г. С. 34

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ З ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

Величко Т. Д., Косенко В.В. 40

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БАНАНІВ ДО НИЗЬКОЇ ЗАЛИШКОВОЇ ВОЛОГОСТІ

Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Гусарова О.В., Малащук Н.С. 43

ДОСЛІДЖЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЕРЛІТУ ТА РОЗРОБКА ОХОЛОДЖУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

Мартинюк О. В., Зайцев С. В. 47

**SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL SOLUTIONS
IN POLYMER FIBER EXTRUSION: A REVIEW OF CURRENT
TRENDS**

Vladyslav Denysiuk, Mykola Shved, Dmytro Shved 50

**MODERNISATION OF THE HEAT EXCHANGER IN THE
TECHNOLOGICAL SCHEME OF FEED YEAST PRODUCTION**

Husarova O.V., Chukhlib Y.S. 58

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ
ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ**

Вакуліна А.Д., Гулієнко С.В. 63

**MODERNIZATION OF THE BOILED SALT PRODUCTION PLANT
WITH THE DEVELOPMENT OF A DRUM DRYER AND CYCLONE**

Gnidenko S. V., Stepaniuk A. R. 69

**MODERNIZATION OF POLYMERGASINOL PRODUCTION PLANT
WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR REACTOR AND
HEAT EXCHANGER**

Nefyodova K.V., Stepanyuk A. R. 75

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА ВИРОБНИЦТВА ФЕНОЛУ
ТА АЦЕТОНУ**

Швединський Д. О., Подиман Г. С. 81

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСТРУЗІЇ ХАРЧОВОЇ ПЛІВКИ З
PLA: ВІД СИРОВИНИ ДО ГОТОВОГО ПРОДУКТУ**

А.Ю. Абаєв, М.П. Швед 88

**ВИКОРИСТАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОПІДГОТОВКИ У
ВИРОБНИЦТВІ СОКІВ**

Б. Целень, А. Недбайло, Л. Гоженко, Н. Радченко, В. Шуляк, В. Щепкін 93

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ
СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА
ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ**

Семенов Д.П., Гулієнко С.В. 95

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СОНЦЕЗАХИСНОГО
КРЕМУ З РОЗРОБКОЮ ПЕРЕМІШУВАЧА**

Хукаленко І. О., Косенко В.В. 101

**FEATURES OF THE VALUE OF SLIP DEFORMATION
CALCULATING WHEN USING THE STEPWISE APPROXIMATION**

Trachuk Y. V., Shved M. P. 105

**MODERNIZATION OF COKE PRODUCTION PLANT WITH
DEVELOPMENT OF DRUM DRYER AND CYCLONE**

Stepura H., Stepaniuk A. 111

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СИРОВИНИ	СУШІННЯ	КАРОТИНОВМІСНОЇ	
Новохат О.А., Тишко Ю.А.			116
CALCULATION OF THE EFFICIENCY OF DUST AND WATER VAPOR CAPTURE IN CYCLONES WITH LOCAL WALL IRRIGATION			
Dmytruk Andriy V., Stepaniuk A. R.			122
3D MODELING OF A MODERNIZED HEAT EXCHANGE TUBE OF AN EVAPORATOR WITH TURBULENCE PROMOTERS IN SOLIDWORKS			
Oleksandr Nesteruk, Sergey Gulienko			129
МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА			
Трунін А.О., Степанюк А.Р.			136
ЗБІЛЬШЕННЯ БІОКОНВЕРСІЇ СОЛОМИ ПШЕНИЧНОЇ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ			
Ободович О.М., Сидоренко В.В.			140
MODERN DIRECTIONS OF EVAPORATOR MODERNIZATION			
Oleksandr Belchenko, Igor Andreiev			146
CONTINUOUS TECHNOLOGY OF BAKER'S YEAST CULTIVATION			
Husarova O.V., Kononenko M.S.			149
ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕНСИФІКУЮЧОГО ВПЛИВУ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВІДНОВЛЕННЯ СОКІВ			
Б. Целень, А. Недбайло, Л. Гоженко, Н. Радченко, В. Шуляк, В. Щепкін			156
ОСОБЛИВОСТІ ІНІЦІУВАННЯ КАВІТАЦІЇ У ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ЕКСТРАКТОРІ З КОМБІНОВАНИМ ГІДРОДИНАМІЧНИМ ПРИСТРОЄМ			
Іваницький Г.К., Гоженко Л.П., Радченко Н.Л., Целень Б.Я., Недбайло А.Є.			159
SELECTION OF A HEAT EXCHANGER FOR HEATING SULFURIC ACID IN A HYDROGEN FLUORIDE PRODUCTION UNIT			
Pakholchenko T. O., Novokhat O. A.			162
PROCESSES OF HEAT TRANSFER IN THERMAL ENERGY STORAGE EQUIPMENT			
A.V. Tarasenko, A.R. Stepaniuk			167

DISTRIBUTED ANNUAL WASTE IN THE TERRITORIES OF UNITED COMMUNITIES AS A RAW MATERIAL BASE FOR A CLOSED-CYCLE ECONOMY

Kremnev V., Timoshchenko A., Belyaev G., Belyaeva I., Korbut N., Stetsuk V., Zhukov K. 171

MODERNIZATION OF THE REACTOR AGITATION DEVICE FOR THE PRODUCTION OF THE ZIGLER-NATTA CATALYST

Husarova O.V., Dakhnenko V., Bielokon A.I. 174

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗПИЛЕННЯ РІДКОЇ ФАЗИ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

Я.М. Корнієнко, Д.В. Стьопчкін 181

CFD-АНАЛІЗ ВПЛИВУ РАДІУСА ЗАОКРУГЛЕНЬ ВЕРШИН ТРИКУТНОГО СПЕЙСЕРА ДЛЯ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Гулієнко Сергій, Ясеньчук Віталій 186

MODERNIZATION OF THE DRUM DRYER OF THE COKE PRODUCTION PLANT

Mykyta KEKUKH, Andriy STEPANYUK 191

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ НА ГІДРОДИНАМІКУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ ПРИ ДРАЖУВАННІ НАСІННЯ

Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Семененко Д. С. 196

WATER VAPOR AND PARTICULATE MATTER CAPTURE FROM THE GAS STREAM IN THE PACKED BED SCRUBBER

Ivan Tisnyi, Andriy Stepaniuk 202

DEHYDRATION OF CRYSTALLINE BISCHOFITE UNDER HIGH-TEMPERATURE DRYING

Filipov V.V., Novokhat O.A. 206

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МАСОВІДДАЧІ НА ВЕЛИЧИНУ ОПОРУ ШАРУ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ПРИ ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ

Гулієнко С.В., Мишковець С.М. 210

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПРИ МОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТУВАННІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Коник А.В. 213

СЕКЦІЯ 2

**«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНОГО КАРТОНУ**

Мартинюк В.В., Остапенко А.А. 221

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЗАХИЩЕНОГО ПАПЕРУ

Порохнюк Ю.В., Мовчанюк О.М. 224

INVESTIGATION OF WIRE WATER FROM CELLULOSE MEMBRANE PRODUCTION

Trembus I. V., Haponiuk A. S., Kyslyi V. V. 229

МОДИФІКАЦІЯ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЇХНЬОЇ СОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ДО СПОЛУК ЗАЛІЗА ТА МАНГАНУ

Ліщенко Д. Ю., Твердохліб М. М. 234

FEATURES OF DOCUMENT PAPER PRODUCTION

Trembus I., A., Porokhniuk V. 237

RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF DOCUMENT PAPER

Trembus I., Porokhniuk V., Stepanyshyna A. 242

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ РОЗВОЛОКНЕННЯ СУЛЬФАТНОЇ НЕВИБІЛЕНОЇ ХВОЙНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ НА ЯКІСТЬ ВОЛОКНИСТОЇ МАСИ

Щегорцова Т.В., Черьопкіна Р.І. 247

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ, УТИЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХОРОНЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ

Умнов І. Д., Твердохліб М. М., Трус І. М. 253

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF SANITARY AND HYGIENE PRODUCTS ON A PAPER MACHINE

Lyzak G.V., Storozhuk O.S., Barbash V.A. 258

IMPROVING MOISTURE RESISTANCE IN PACKAGING CARDBOARD

Iryna Koval, Yevhenii Mukalo, Vita Halysh 264

PRETREATMENT OF WALNUT SHELLS AND APRICOT KERNELS FOR POLYSACCHARIDE ISOLATION

Daniil Dragan, Vita Halysh 268

СЕКЦІЯ 3 «ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ БІОПОЛІМЕРІВ ТИПУ PLA

А.Ю. Абасєв, М.П. Швед 273

ВИПАРНИЙ АПАРАТ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ХЛОРИДУ БАРІЮ	
Олександр Нестерук, Сергій Гулієнко	280
МОДЕРНІЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ	
Вакуліна А.Д., Гулієнко С.В.	285
МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ	
Семенов Д.П., Гулієнко С.В.,	290
MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN PLATE OF THE METHANOL PRODUCTION PLANT	
Trunin A.O., Stepaniuk A.R.	296
ІННОВАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МАКУЛАТУРНОГО ПАКУВАЛЬНОГО ПАПЕРУ	
Бонь О.П., Дейкун І.М.	302
МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА УСТАНОВКИ АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ	
Антончик Є. Є., Коник А.В.	306
OVERVIEW OF EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF ETHYL ALCOHOL	
Sytnyk V. M., Haidai S. S.	313
BIOGAS PURIFICATION PLANT WITH DEVELOPMENT OF HEAT EXCHANGER	
Koren D.O., Haidai S.S.	318
ORGANIC-MINERAL FERTILIZER PRODUCTION PLANT	
Kapuka O.D., Haidai S.S.	324
ANALYSIS OF EXISTING NITROGEN-OXYGEN INSTALLATIONS AND DETERMINATION OF THE DIRECTION OF OWN MODERNIZATION	
Stasiuk A. Y., Haidai S. S.	328
MODERNIZATION OF THE HEAT EXCHANGER OF THE AIR SEPARATION UNIT	
Stasiuk A. Y., Haidai S. S.	333
MODERNIZATION OF THE ETHANOL PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A DEPHLEGMATOR	
Bohdanets M.G., Haidai S.S.	338
СПОСОБИ ПЕРЕРОБКИ АСЕПТИЧНОЇ УПАКОВКИ	
Т. Хатмуллін, Р. Черьопкіна	341

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛОТНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
КІНЕТИКИ ПРОЦЕСІВ ГІДРУВАННЯ ДВООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ
ВОДНЕМ**

Цюпяшук А.М., Соловйов Г.І., Костоґриз К.П. 346

**MODERNIZATION OF POLYMERGASINOL PRODUCTION PLANT
WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR REACTOR AND
HEAT EXCHANGER**

Nefyodova K.V., Stepanyuk A. R. 351

**МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕАКТОРА-ПОЛІМЕРИЗАТОРА ПРИ
ВИРОБНИЦТВІ ПОЛІСТИРОЛУ**

Єрмоменко М. А., Подиман Г. С. 356

**ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
БІОРОЗКЛАДНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ КРОХМАЛЮ**

Бишко М.А 362