



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

**Інститут технічної теплофізики НАН України  
Інститут Газу НАН України  
Грузинський технічний університет**

**Збірник тез доповідей ХХІІІ міжнародної  
науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ОБЛАДНАННЯ”**

*до 75-річчя від дня  
заснування Інституту  
технічної теплофізики  
Національної академії наук  
України*

5 - 7 грудня  
Київ 2022

УДК 66

ББК 35.11я43

Р 43

Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (5-7 грудня 2022 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КІП ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 255 с.

**Збірник тез доповідей XXIII міжнародної  
науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**"РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ОБЛАДНАННЯ"**

Рекомендовано до друку  
Вченою радою Інституту  
технічної теплофізики  
НАН України  
Протокол № 18  
від 18 листопада 2022 р.

Рекомендовано до друку  
Кафедрою машин та апаратів  
хімічних  
і нафтопереробних виробництв  
Протокол № 8  
від 5 грудня 2022 р.

**Тези опубліковано за авторською редакцією.**

---

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Снежкін Ю. Ф.** академік, д.т.н., директор Інституту технічної теплофізики НАН України, голова програмного комітету конференції
- Корнієнко Я. М.** д.т.н., професор, зав. кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського, заступник голови програмного комітету конференції
- Киричок П.О.** д.т.н, проф., директор Видавничо-поліграфічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Ільєнко Б. К.** к.т.н., Вчений секретар Інституту Газу НАН України
- Сергієнко Р.В.** к.т.н., Вчений секретар Інституту Інституту технічної теплофізики НАН України
- Корінчук Д. М.** д.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України
- Коник А.В.** к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України
- Собченко В.В.** к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник Інституту Газу НАН України
- Какубава Реваз (Івері) В.** д.т.н., професор Грузинського технічного університету

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Корнієнко Я. М.** д.т.н., професор, зав. кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського», голов організації комітету конференції
- Степанюк А. Р.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського, заступник голови програмного комітету конференції
- Марчевський В. М.** к.т.н., професор кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського
- Андрєєв І. А.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
- Швед М. П.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

**СЕКЦІЯ 1**

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

УДК 621.21

**PECULIARITIES OF MOVEMENT OF FLOODED GAS JET  
IN DISPERSE SYSTEMS**

Kornienko Y.M., Haidai S.S., Yevziutin P.Y, Sameliuk O.V.

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

**ABSTRACT:** The peculiarities of the motion of the flooded gas jet on the surface of the gas-distributing device (GDD) of the apparatus with a fluidized bed to ensure non-uniform jet-pulsating fluidization in the self-oscillating mode are substantiated. The calculated dependences for determining the gas pressure in the GDD slit are obtained, taking into account the experimental data, which provide active non-uniform jet-pulsating fluidization in the self-oscillating mode.

**KEY WORDS:** FLUIDIZED BED, HYDRODYNAMICS, NON-UNIFORM FLUIDIZATION, GRANULATION.

**ОСОБЛИВОСТІ РУХУ ЗАТОПЛЕНОГО СТРУМЕНЯ В  
ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМАХ**

Корнієнко Я.М., Гайдай С.С., Євзютін П.Ю., Самелюк О.В.

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

**АНОТАЦІЯ:** Обґрунтовано особливості руху затопленого газового струменя на поверхні газорозподільного пристрою (ГРП) апарата із псевдозрідженим шаром для забезпечення неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі. Отримано

розрахункові залежності для визначення тиску газу в щілині ГРП з урахуванням дослідних даних, при яких забезпечується активне неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження в автоколивальному режимі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР, ГІДРОДИНАМІКА, НЕОДНОРІДНЕ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ГРАНУЛЯЦІЯ.

Застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі при одержанні гранульованих гумінових органо-мінеральних добрив забезпечує інтенсифікацію дифузійно контрольованих процесів при зневодненні та грануляції рідких багатокомпонентних систем, що містять компоненти мінерального та органічного походження [1-3]. У роботах [1-5] встановлено, що неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження в автоколивальному режимі без застосування механічних пульсаторів можливо забезпечити при застосуванні ГРП щілинного типу. Для цього необхідно забезпечити достатню енергію [2-5], яка надходить із затопленим газовим струменем через основну щілину ГРП по поверхні пластини в зоні «Д» ГРП, рисунок 1.

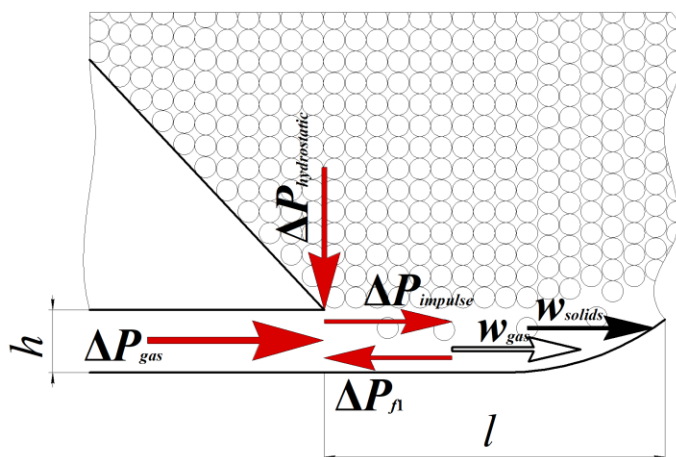


Рисунок 1 – Схема руху дисперсного середовища в зоні Д ГРП

Для забезпечення необхідної енергії затопленого струменя тиск газу в щілині повинен задовольняти умові, Па:

---

$$\overline{\Delta P_{gas}} = \overline{\Delta P_{impulse}} + \overline{\Delta P_{f1}} + \overline{\Delta P_{hydrostatic}} \quad (1)$$

де  $\overline{\Delta P_{impulse}}$  – аеродинамічний опір для створення імпульсу руху дисперсного середовища, Па;

$\overline{\Delta P_{f1}}$  – гідравлічний опір дисперсного середовища по довжині каналу зони «Д», Па;

$\overline{\Delta P_{hydrostatic}}$  – опір від гідростатичного тиску шару зернистого матеріалу з початковою висотою  $H_0$ , Па;

Аеродинамічний опір для створення імпульсу руху дисперсного середовища, Па:

$$\overline{\Delta P_{impulse}} = \frac{1}{2} [\rho_{solids} \epsilon_{solids} w_{solids}^2 + \rho_{gas} \epsilon_{gas} w_{gas}^2] \quad (2)$$

де  $\rho_{solids}$ ,  $\rho_{gas}$  – густина твердих частинок (гранул) та газової фази (зріджувального агенту) відповідно, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{solids}$ ,  $w_{gas}$  – швидкість твердих частинок (гранул) та газової фази (зріджувального агенту) відповідно, м/с;

$\overline{\epsilon_{solids}}$ ,  $\overline{\epsilon_{gas}}$  – об'ємні частки твердих частинок та газової фази у зоні «Д» ГРП:

$$\overline{\epsilon_{solids}} + \overline{\epsilon_{gas}} = 1. \quad (3)$$

За результатами проведених досліджень [3-5] з

урахуванням того, що  $0.8 \leq \overline{\epsilon_{gas}} \leq 1.0$  приймаємо  $\overline{\epsilon_{gas}}=0.95$  та  $\overline{\epsilon_{solids}}=0.05$ .

Опір від гідростатичного тиску шару зернистого матеріалу з початковою висотою  $H_0$ , Па:

$$\overline{\Delta P_{hydrostatic}} = H_0 \rho_{solids} (1 - \epsilon_0) g K_1 \quad (4)$$

де  $\overline{\epsilon_0} = 0.4$  – порозність початкового шару (частка газу в початковому шарі);

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує складову тертя.



Гідрравлічний опір по довжині каналу зони «Д», Па:

$$\Delta P_{f1} = \lambda \frac{l}{D_e} \frac{\rho_{gas} w_{gas}^2}{2} \quad (5)$$

де  $\bar{\lambda}$  – коефіцієнт гідрравлічного опору руху газу –  $\lambda=f(\text{Re})$ ;

$D_e$  – еквівалентний діаметр каналу в зоні «Д», утвореного біля поверхні горизонтальної пластини ГРП, довжиною  $l$  між двома бічними стінками ГРП.

Враховуючи, що  $h$  та  $B$  відповідно висота та ширина щілини, тоді:

$$D_e = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4hB}{2(h+B)} \quad (6)$$

Динамічний опір газу в щілині ГРП із розмірами  $h \times B$  визначається як, Па:

$$\Delta P_{gas} = \frac{\rho_{gas} w_{gas}^2}{2} \quad (7)$$

Рівняння (1) ітераційним методом розв'язуємо відносно величини параметра  $l$ . У рівнянні (2) приймаємо, що швидкість твердих частинок  $w_{solids}$  становить 1.1÷1.33 від швидкості виносу  $w_{blowingout} - w_{solids} = (1.1 \div 1.33)w_{gas}$  – і дорівнює швидкості газового середовища  $w_{gas}$ , враховуючи пульсаційну зміну висоти та порозності шару зернистого матеріалу.

Отримані розрахункові залежності необхідно перевірити експериментально для зернистих матеріалів з різним дисперсним складом.

## REFERENCES

1. Kornienko Y. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Y. Kornienko, S. Haidai // Ukrainian Food Journal. – 2017. – Vol. 6. – Issue 3. – PP. 562-576.
2. Korniyenko Y. Modelling of pulsating mode of fluidization when obtaining organic-mineral fertilizers / Y. Korniyenko, S. Haidai, A. Liubeka, S. Turko,

O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 4. – PP. 781-794.

3. Kornienko Y. M. Increasing of the Heat and Mass Transfer Processes Efficiency with the Application of Non-Uniform Fluidization / Kornienko Y. M., Haidai S. S., Sachok R. V., Liubeka A. M. and Kornienko B. Y. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – APRIL 2020. – №7. – Vol. 15. – PP. 890-900.

4. Korniyenko B., Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A., Hulienko S. (2022) Conditions of Non-uniform Fluidization in an Auto-oscillating Mode. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Yanovsky, F., He, M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. ISEM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 463. Springer, Cham. Pp. 14-27. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_2).

5. Korniyenko B., Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A. (2022) The Heat Exchange in the Process of Granulation with Non-uniform Fluidization. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Yanovsky, F., He, M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. ISEM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 463. Springer, Cham. Pp. 28-37. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_3).

УДК 637.147.2к

## MILK PROTEIN AND PRODUCTION EQUIPMENT

Ph.D., professor Marchevskii V., master student Shashkov V.,  
master student Glibovets S.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***Abstract.** An analysis of information on milk protein and its important role as a food product was carried out. The main equipment, problematic processes and line operation are considered.*

**Key words:** CASEIN, MILK PROTEIN, LINE, PRODUCTION.

## МОЛОЧНИЙ БЛОК ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА

к.т.н., професор Марчевський В.М., магістрант Шашков В.О.,  
магістрантка Глибовець С.В.

**Національний Технічний Університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

***Анотація.** Проведено аналіз інформації стосовно молочного білка та його важлива роль як продукту харчування. Розглянуто основне обладнання, проблемні процеси та роботу лінії.*

**Ключові слова:** КАЗЕЇН, МОЛОЧНИЙ БЛОК, ЛІНІЯ,  
ВИРОБНИЦТВО.

Молочний білок – найбільш важливий та складний компонент молока ссавців, що утворює структури [1]. Його можна поділити на дві основні групи: сиворотковий білок, який має високий рівень розчинності у воді та казеїн, який не розчиняється у воді.

Казеїн, становить приблизно 80% білка, що знаходиться в молоці [2, 3]. Казеїн молока, при включенні його в раціон харчування у вигляді таких продуктів як сир та твердий сир, виконує в організмі структурні функції, будучи джерелом кальцію, фосфору, магнію, цілого ряду фізіологічно активних пептидів, що регулюють процес травлення (рівень шлункової секреції), крім того знижує рівень артеріального тиску.

Сироватковий протеїн становить всього 20% білків молока. Він відрізняється наявністю амінокислот з розгалуженим ланцюгом, таких як лейцин, валін і ізолейцин. За заявою вчених, даний різновид протеїну дозволяє знизити рівень кров'яного тиску, рівень стресу, а також поліпшити настрій. Крім того, дана речовина сприяє збільшенню обсягів м'язової маси. Саме тому сироватковий протеїн користується особливою популярністю серед бодібілдерів і спортсменів.

У промисловості власне казеїн отримують двома основними способами – осадженням з допомогою неорганічних чи органічних кислот чи коагуляцією сичужними ферментами. Отриманий продукт, казеїн, – білковий концентрат. Жир, сироваткові білки, лактоза та мінеральні солі погіршують якість кінцевого продукту та повинні бути видалені промиванням.

Всі вищевказані вимоги виконуються в дипломному проекті лінії, що модернізується. В якості аналога вибрана лінія ОКЛ-3, розроблена в КПІ в дев'яності роки. Відома комісія рекомендувала лінію в серійне виробництво. Серійне виробництво лінії здійснював Дніпропетровський механічний завод Міністерства механічної промисловості.

Лінія ОКЛ-3 добре зарекомендувала себе у виробництві, але роки, робота, заміна комплектуючих та зміни на ринку вимагають модернізації лінії.

До основних недоліків аналога слід віднести конструкцію витримувача і мішалки. Основний елемент витримувача – камера, де відбувається процес

осадження казеїну, формування зерен білка та їх зміцнення, зроблена із поліетилену, який не витримує температури стерилізації більше 100°C. Крім того неможливо спостерігати структуру суспензії, що рухається, візуально.

Важливу роль в роботі лінії відіграють мішалки, в яких протитечією вимиваються водою із казеїну солі кальцію, магнію, фосфору та інших металів. Конструкція мішалки повинна перешкоджати склеюванню зерен казеїну. Інші елементи лінії з новими комплектуючими і матеріалами можуть працювати для виробництва харчового казеїну.

На лінії в якості осаджувача може застосовуватись молочна сироватка (молочна кислота) та соляна кислота.

За роботи модернізованої лінії відбуваються наступні процеси: приготування робочих розчинів; змішування кислот із знежиреним молоком; нагрівання суміші; осадження білка; витримка і зміцнення зерен білка; відділення сироватки; протитечійне промивання і закріплення зерен білка підкисленою водою; передача білка на стадії пресування і сушіння.

Проектна продуктивність лінії по сухому казеїну 250 кг/год.

### **References:**

1. Производство казеина: основы теории и практики: Научно-практическое издание. Монография. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Дымар О.В., Чаевский С.И., Минск, 2007. 70с.

2. Holt C, Carver JA, Ecroyd H, Thorn DC. Invited review: Caseins and the casein micelle: their biological functions, structures, and behavior in foods. *J Dairy Sci.* 2013 Oct;96(10):6127-46. doi: 10.3168/jds.2013-6831. Epub 2013 Aug 16. PMID: 23958008.

3. Ricci I, Artacho R, Olalla M. Milk protein peptides with angiotensin I-converting enzyme inhibitory (ACEI) activity. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010 May;50(5):390-402. doi: 10.1080/10408390802304198. PMID: 20373185.

UDC 662.749.351

**MODERNIZATION OF THE DRUM DRYER OF THE SALT  
PRODUCTION INSTITUTION**

Master's student Yaroslav BOICHUK, Ph.D., Assoc. Prof. Andrii STEPANIUK,  
Ph.D., senior teacher Roman SACHOC

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

**Annotation:** The technological scheme for obtaining sea salt is described. Proposals have been formulated for the modernization of the drum dryer by making triangular slits along the entire length of the nozzle. As a result of the proposed modernization, the contact area of the solid and gas phases will increase.

**Keywords:** PRODUCTIVITY, DRUM DRYER, MODERNIZATION.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ УСТАНОВИ  
ВИРОБНИЦТВА СОЛІ**

магістрант Ярослав БОЙЧУК, к.т.н., доц. Андрій СТЕПАНЮК?

к.т.н., ст. викл. Роман САЧОК

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

**Анотація:** Описано технологічну схему отримання морської солі. Сформульовано пропозиції щодо модернізації барабанної сушарки шляхом виконання трикутних прорізів по всій довжині насадки В наслідок запропонованої модернізації збільшиться площа контакту фаз твердої речовини і газу.

**Ключові слова:** ПРОДУКТИВНІСТЬ, БАРАБАННА СУШАРКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Salt has recently gained significant relevance, against the background of a constant increase in its needs. Development of technological schemes and methods of obtaining salt is carried out by industrially developed countries of the world.

According to the production technology, it is necessary to dry sea salt, for this we can use the sun, but this is inefficient and the process takes a lot of time, so we use various dryers, in our case we use a drum dryer [1].

Advantages of a drum dryer:

- high power of moisture evaporation;
- high productivity with stable final humidity;
- unpretentious care;
- low energy consumption.

Disadvantages of a drum dryer:

- bulkiness;
- high capital costs;
- grinding of material during drying;
- long-term contact of the material with the heat agent (up to 40 min);
- contamination of products with ash from the furnace (0.2-0.7%);
- sticking of wet material on the inner surface and nozzles of the drum;
- fire hazard;
- emissions into the atmosphere;
- the noise of the device.

Seawater is supplied to the filter 1, which, after heating in the heater 2, is supplied to the evaporator 3, in which a vaporized solution is formed with the help of water vapor. After evaporation, the suspension enters the heat exchanger 4 and crystallizes in the crystallizer 5. After the mixture has crystallized, it enters the

centrifuge 6, where a certain amount of moisture is removed. After centrifugation, the suspension is washed with water in the washer 7 and re-centrifuged in the centrifuge 6, then it is fed into the drum dryer 8, the hot air for which is heated in the heater 9, after drying in the drum dryer, the final product is obtained - sea salt.

The technological scheme of the process of extracting sea salt is shown in

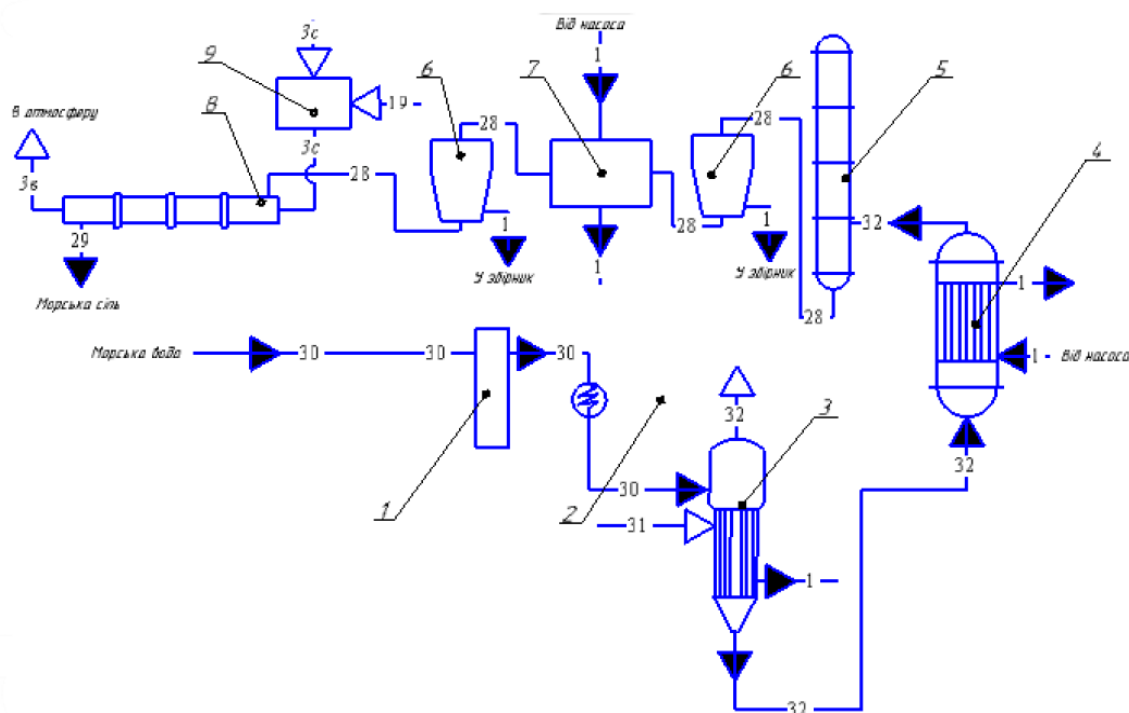


Figure 1 [2].

- 1 – filter I; 2 – heater; 3 – evaporation apparatus; 4 – heat exchanger;
- 5 – crystallizer; 6 – centrifuge; 7 – water washer;
- 8 – drum dryer; 9 – heater.

Figure 1 – Technological diagram of the sea salt production process

The aim of the dissertation is the development and modernization of a drum dryer and the development of a cyclone.

The essence of the modernization consists in the modernization of the nozzle of the drum dryer. Shown in Figure 2.



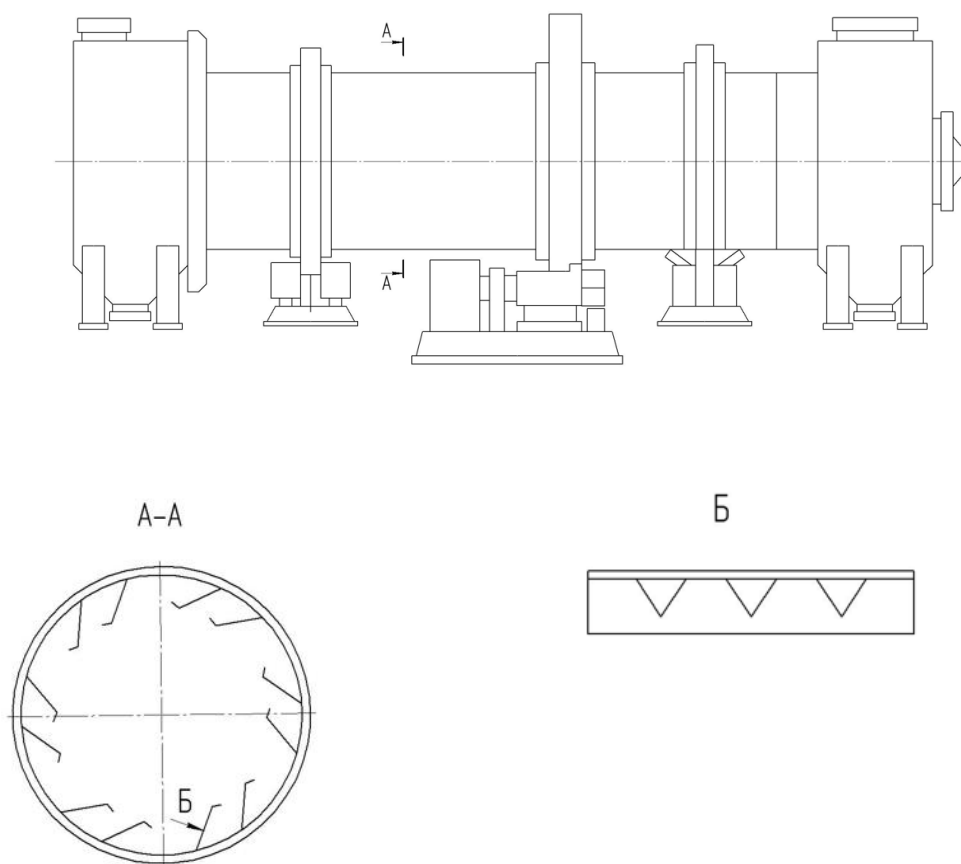


Figure 2 – Modernized drum dryer

In order to increase the productivity of the drum dryer, it is necessary to make triangular slits along the entire length of the nozzle, in this case, the material will flow through the nozzle. As a result, increase the contact area of the solid and gas phases.

**References:**

1. Yu.Y. Dytnerky. Processes and apparatuses of chemical technology: Textbook for universities / Yu.I. Dytnerky. In 2 parts. - M.: Khimiya, 1995.
2. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Sea\\_salt](https://uk.wikipedia.org/wiki/Sea_salt)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КАРТОНУ**

Магістр Антон Возович, доц., к.х.н. Галиш В.В.

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

В даній роботі розглянуте питання удосконалення технології виробництва картону. Основною сировиною в Україні для виготовлення картону є макулатура, переробка якої зменшує кількість побутових звалищ. Покращення фізико-механічних властивостей можливо за допомогою додавання хітозану. Хітозан є деацетильованим похідним хітину, однієї з найбільших доступної біомаси, знайденої на поверхні планети після целюлози. Основними джерелами хітину є морські рештки тварин, такі як краби, креветки та інші ракоподібні.

Ключові слова: макулатура, переробка, хітозан, обігові води.

This work examines the issue of improving the cardboard production technology. The main raw material in Ukraine for the production of cardboard is waste paper, the processing of which reduces the number of household landfills. Improvement of physico-mechanical properties is possible by adding chitosan. Chitosan is a deacetylated derivative of chitin, one of the largest available biomasses found on the surface of the planet after cellulose. The main sources of chitin are the marine remains of animals such as crabs, shrimps and other crustaceans.

Keywords: wastepaper, recycling, chitosan, circulating water.

За різними оцінками, макулатурні відходи налічують приблизно 22 % від обсягу, який складають усі тверді побутові відходи житлового сектору. Широкою популярністю користується тара та упаковка з гофрокартону. Цей

багатошаровий матеріал відрізняється низькою вагою, вартістю, високими механічними параметрами.

Тому необхідно відмовитися від пластику і збільшити виробництво екологічно чистих пакувальних матеріалів з вторинної волокнистої рослинної сировини.

В Україні перероблений папір є основним джерелом волокна для паперової та картонної продукції, це може надавати нижчі фізико-технічні показники, ніж при використанні первинного волокна, але при використанні хімічних добавок в композиції можна збільшити ефективність утримання волокна на сітці та зменшити забруднення підсіткових вод.

Метою роботи є удосконалення технологічного потоку виготовлення тарного картону з вторинного волокна.

#### *Використання хітозану у якості наповнювача композиції картону*

Чудова плівкоутворююча здатність хітозану робить його ідеальною сировиною для покриттів і упаковки. У багатьох дослідженнях повідомлялося про виробництво хітозанових плівок для упаковки харчових продуктів і покриття фруктів. Однак практичне застосування плівок на основі хітозану в упаковці обмежене через низькі механічні та бар'єрні властивості. Поліпшення цих властивостей можна досягти шляхом формування композитних плівок з іншими зміцнюючими компонентами, такими як нанокристали/нановолокна целюлози, нанокристали хітину, крохмаль, желатин, діатомова земля тощо.

Завдяки високому аспектному співвідношенню додавання целюлозних нановолокон може забезпечити більшу жорсткість навіть при низьких концентраціях. Крім того, целюлозні нановолокна також утворюють взаємопов'язані мережі з матрицями інших матеріалів через водневі зв'язки.

Дослідження використання хітозану показують, що найбільш доцільним буде застосування 2,5%-го розчину при рН 8,6. Розчин такої

концентрації має найбільш якісні показники осадження на волокні картону та, відповідно, найнижчий ступінь забруднення підсіткових вод.

Додавання розчину хітозану покращує фізико-механічні якості картону, збільшується жорсткість картону

Для покращення якості формування картонного полотна пропонується заміна круглосіткових вакуум-формуючих пристроїв на плоскосіткові з двома сітковими столами і двома напірними ящиками. Такі машини мають наступні переваги:

- високу швидкість (до 1000 м/хв),
- велику обрізну ширину (до 10 м), завдяки цьому і високу продуктивність.

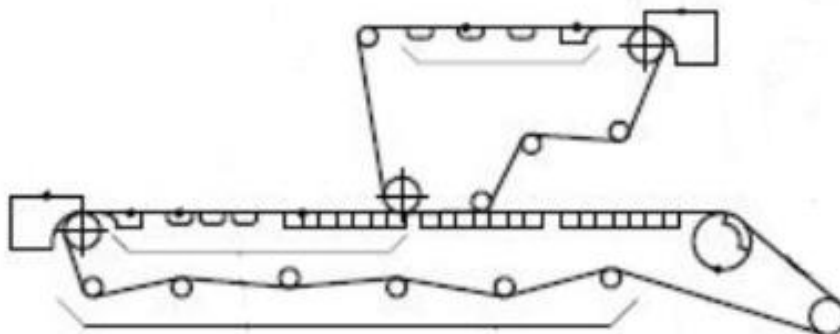


Рисунок 1 – Плоскосіткова формуюча частина.

Наведені вище переваги позитивно вплинуть на якість картону, його структуру та фізико-механічні показники.

Машини з такою структурою відрізняються тим, що формування шару паперу здійснюється між сітками, що рухаються з однаковою швидкістю і в одному напрямку, але вони можуть мати різну довжину і різну форму поверхні. Оскільки дегідратація та формування паперу здійснюються одночасно через дві сітки, процес дегідратації набагато інтенсивніший, ніж

одна сітка, і структура поверхні паперу буде однорідною, а обидві сторони приблизно однаковими.

Крім того, машини з двома сітчастими столами мають більш високу продуктивність і дозволяють працювати з більшою концентрацією вихідної маси, що сприяє зменшенню споживання прісної води. Отже, завдяки значному підвищенню продуктивності та зниженню собівартості продукції, незважаючи на великі капітальні вкладення в проект, все ж можна отримати високі виробничі техніко-економічні показники.

Таким чином, проведені дослідження відкривають нові шляхи модернізації існуючих технологічних потоків виготовлення картону з макулатури з метою екологізації виробництва шляхом зменшення вимоїв дрібного волокна та зменшення об'ємів утворення рідких та твердих відходів.

UDC 662.749

## MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN ETHANOL PRODUCTION PLANT

Ph.D. Husarova O.<sup>1</sup>, academician of the NAS of Ukraine Snezhkin Yu.<sup>2</sup>,  
graduate student Yanitsky V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

<sup>2</sup> Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

***ABSTRACT.** The analysis of foreign and domestic technological schemes of ethanol production was carried out and the modernization of the rectification column was proposed for the intensification of heat and mass exchange during alcohol.*

**KEYWORDS:** ETHANOL, TECHNOLOGICAL SCHEME, RECTIFICATION COLUMN, MODERNIZATION.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ

ст. викладачка, к.т.н. Гусарова О.В.<sup>1</sup>, академік НАН України Снежкін Ю.Ф.<sup>2</sup>,  
магістр Яницький В.Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup> Інститут технічної теплофізики Національної Академії Наук України

***АНОТАЦІЯ.** Проведено аналіз зарубіжних та вітчизняних технологічних схем виробництва етанолу та запропоновано модернізацію ректифікаційної колони для інтенсифікації тепломасообміну під час одержання спирту.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕТАНОЛ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

The alcohol industry of Ukraine is intended for the production of alcohol, which can meet the needs of society. In addition, the industry disposes of agricultural raw materials, which has lost its consumer properties.

Ethanol is an active ingredient in alcoholic beverages, which are usually made by fermenting carbohydrates. In addition, in the food industry, ethanol can be used to dissolve food flavors, as a preservative in bakery products and confectionery. Known as a food additive E1510. Other applications: as fuel and fuel, solvent, alcohol thermometer filler, and disinfectant/disinfectant component. As a fuel (motor, rocket, for internal combustion engines, heaters, and touring burners) methylcarbinol can act independently and together with gasoline. It is also used to produce high-quality fuel and gasoline components. The chemical industry uses this substance for the synthesis of various compounds (ethane, sulfuric ether, tetraethyl lead, acetic acid, methyl trichloride, ethyl acetate, ethene, etc.). It is part of automotive antifreeze coolants and glass cleaners. Do not overestimate its importance as a solvent for the paint industry, in the manufacture of household chemicals (detergents, especially for glass and plumbing, as well as repellents), and other purposes. In medicine, ethanol is also used as a solvent, but also as an extractant and antiseptic. Ethyl alcohol is a solvent in the perfume and cosmetics industry. Here it is part of perfumes, colognes, eau de toilette, aerosols, shampoos, shower gels, toothpaste, and other fragrant products [1–4].

Historically, Ukraine produced a food product. Alcohol technology is comprehensively researched, scientific regulatory documentation is developed in detail: regulations, instructions, standards, etc. In 1998-2000, the production of technical alcohol from sugar- and starch-containing raw materials was organized in Ukraine. It is recommended to use defective types of grain, molasses, non-

traditional types of raw materials. Using the experience of the USA, Brazil and Canada in the production and consumption of alcohol as a fuel, the technology of fuel ethanol (bioethanol) has been mastered in Ukraine [3].

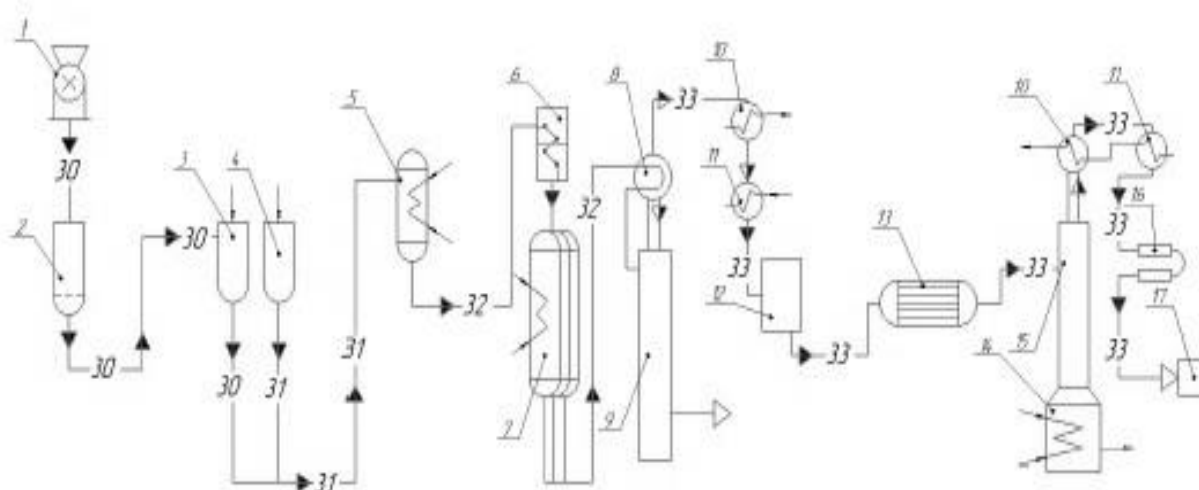
Currently, there are many ethanol production technologies in the world [3–8]. From the analysis of scientific and technical literature, we can see that in general, the production of ethanol consists of two biochemical processes: hydrolysis (saccharification) of starch contained in raw materials and fermentation of the obtained sugars into alcohol and carbon dioxide, and the physical process of separation of liquids by boiling points. When obtaining ethanol by fermentation, distillation and rectification are the final stages of the technological scheme of alcohol production.

Traditional raw materials for the production of alcohol – grain and molasses – can be supplemented with non-traditional raw materials: Jerusalem artichoke, sugar beet, other agricultural crops [3, 7, 8]. In the future, corn in the cob, cellulose-containing waste from the oil and fat industry, and husks of sunflower, flax, hemp, and rapeseed seeds can be used for the production of technical and fuel alcohol [4, 6]. Stems, cobs, sunflowers, oilseed and technical crops can also be raw materials in the technology of technical and fuel alcohol. At the same time, along with amylolytic and proteolytic enzymes, it is possible to use cellulolytic or enzyme complexes [3, 6].

Having analyzed the known technological schemes for obtaining ethanol, for our further work we stopped at the production of alcohol from one of the types of starch-containing raw materials – potatoes (Fig. 1), [7, 8]. The raw material is loaded into the mill 1, where it is crushed, after which it enters the mixer 2 for cleaning, from there it is pumped by a pump to the digester 3, where it undergoes heat treatment to dissolve starch. After processing, the mixture is fed to the steam generator 4 for heating, after which it enters the apparatus 5 for starch enrichment. After enrichment, the mixture is sent to refrigerator 6 for cooling. After cooling, it



enters the fermenter 7, where maltose fermentation takes place. In the apparatus 8, the mash is heated and fed to the fermentation column 9 for steam distillation of the mash to extract alcohol from it. Partial condensation of the product takes place in the dephlegmator 10. After condensation, the resulting product is pumped into the alcohol-raw material collector 11. This product enters the heater 13, where it is heated to a boiling temperature of 80 °C due to the heat of the heating steam, which condenses in the intertube space of the heater. The mixture heated to boiling enters the feed plate of the rectification column 15. The composition of the liquid on the feed plate corresponds to the composition of the initial mixture (ethanol – 40%, water – 60%).



1- mill; 2 - mixer; 3 – cooking apparatus; 4 – steam generator; 5 – apparatus for sugar enrichment; 6 – wort refrigerator; 7 – fermentation apparatus; 8 – heater; 9 – fermentation column; 10 – dephlegmator; 11 – capacitor; 12 – collection; 13 – heater; 14 – cube; 15 – rectification column; 16 – heat exchanger; 17 – collection

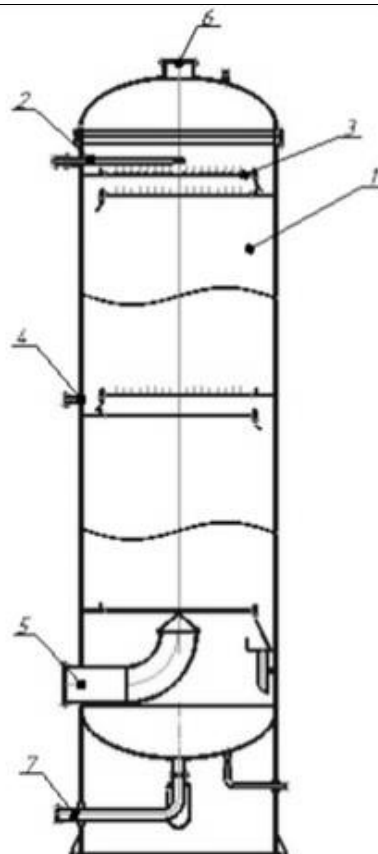
**Figure 1 – Technological diagram of ethanol production [7]**

The heated mixture is fed to the rectification column 15 to separate the mixture with the content of 96.3% volume percentage of ethanol. As a result of countercurrent vapor-liquid interaction, the mixture is separated into two separate

components – high-boiling and low-boiling. In accordance with the assignment for the qualification work, the low-boiling component is ethanol. The resulting mixture is condensed in the condenser 13 due to the removal of heat to the cold heat carrier (technical water), which circulates through the pipes and is pumped for cooling in the heat exchanger 16 to the ambient temperature. After cooling, the finished product is collected in the alcohol tank 17 as a finished product with a high ethanol content.

The technological scheme (Fig. 1) uses a complete alcohol rectification column 15 (Fig. 2), designed to separate alcohol from water, concentrate it to a certain strength, as well as concentrate intermediate impurities and remove them in the form of a finished product - clove oil. The alcohol column ensures the removal of the remaining main impurities with unpasteurized alcohol. The number of plates in the columns is determined by the rectification conditions and the final results of the process.

As a rule, alcohol columns have 66...71 plates, all plates with overflow devices. Plate columns are most often used in the rectification of ethanol. Plate designs provide for the most intense mass exchange between liquid and steam. Known designs are divided into plates with overflow devices and plates without them - of the drop type [3].



1 – column body; 2 – phlegm inlet; 3 – plate; 4 – input of the initial mixture;  
5 – input of cubic residue; 6 – distillate output; 7 – yield of cubic residue

**Figure 2 – Structural scheme of the rectification column**

In the work, with the aim of intensifying the heat and mass exchange, it is proposed to modernize the rectification column, namely its mass exchange plates. It is proposed to additionally install mesh elements above the plate caps, which will allow obtaining a stable driving force by reducing longitudinal mixing, which will ensure an improvement in the efficiency and efficiency of the plate without significantly complicating the design and increasing the dimensions of the device.

**Conclusions:** the work analyzed foreign and domestic technological schemes for the production of ethanol, considered the raw materials for its production, described the technological scheme of production, the rectification column and proposed its modernization for the intensification of heat and mass

exchange during the production of alcohol.

### References:

1. Joglo F.A. Non-aqueous solvents: characteristics, properties and applications in the technology of finished dosage forms. – Lviv, 2002.
2. Handbook of Pharmaceutical Excipients / Ed. by R.C. Rowe, P.J. Sheskey, S.C. Owen. – London-Chicago, 2009. 917 p. ISBN 978-1-58212-135-2 (USA)
3. Osipenko O.P., Taran V.M., Dolomakin Yu.Yu. Technological equipment of the industry. Ethyl alcohol production by fermentation: lecture notes. K.: NUHT, 2012. 48 p.
4. Brethauer S., Wyman Ch. E. Review: Continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production. *Bioresource Technology*. Vol. 101, Iss. 13. 2010. Pp. 4862-4874. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.009>.
5. Chiao J, Sun Z: History of the Acetone-Butanol-Ethanol Fermentation Industry in China: Development of Continuous Production Technology. *J Mol Microbiol Biotechnol*. 2007. Vol. 13. Pp. 12-14. doi: 10.1159/000103592.
6. Dennis J. O'Brien, Lorie H. Roth, Andrew J. McAloon, Ethanol production by continuous fermentation–pervaporation: a preliminary economic analysis. *Journal of Membrane Science*. Vol. 166. Iss. 1. 2000. P. 105-111, ISSN 0376-7388. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(99\)00255-0](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00255-0).
7. Ethyl alcohol production from potatoes [Electronic resource]: [website] - electronic data. URL: <https://xreferat.com/46/840-1-proizvodstvo-etilovogo-spirta-iz-kartofelya.html> (date of appeal 17.09.2022).
8. Shiyan P.L., Sosnitsky V.V., Olynychuk S.T. Innovative technologies of alcohol industry. Theory and practice: monograph - Kyiv: "Askania", 2009. – 424p

UDC 621

**PROCESS OF COMBINED CAPTURE OF HIGHLY DISPERSED  
PARTICLES AND WATER VAPOR**

graduate student A.V. Dmytruk, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R.

**National Technical University of Ukraine**

**"Kyiv Polytechnic Institute"**

**ABSTRACT.** The process of capturing highly dispersed particles is considered, the modernization of the cyclone apparatus is proposed, which will improve the process of capturing and ensure the improvement of the ecological situation of the environment.

**KEYWORDS:** DUST COLLECTION, CYCLONE, MODERNIZATION, ENVIRONMENTAL SITUATION, IMPROVEMENT.

**ПРОЦЕС СУМІСНОГО ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ  
ЧАСТИНОК ТА ВОДЯНОЇ ПАРИ**

аспірант Дмитрук А.В., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут"**

**АНОТАЦІЯ.** Розглянуто процес вловлювання високодисперсних частинок, запропоновано модернізацію циклонного апарату, яка дозволить покращити процес вловлювання та забезпечити покращення екологічної ситуації довкілля.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ, ЦИКЛОН, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ, ПОКРАЩЕННЯ.

A solution consisting of 50% water and 50% solid components (ammonium sulfate salts, humates, other mineral and organic impurities, such as bone meal, etc.)

is fed into the granulator. After the granulation process, it is necessary to get rid of dust as much as possible, for which a cyclone is used. There is no complete cleaning in the cyclone, there is a certain percentage of particles that do not settle in the hopper, but are carried away with the air flow. This happens because, after hitting the walls of the cyclone, the vortex can pick up dust again, for more effective cleaning of gas from dust, the cyclone needs to be modernized, namely the initial gas (air, water vapor, dust) which is heated to a temperature of about 100°C is necessary cool down [1]. This leads to the need for additional wet cleaning of the gas flow, which in time leads to the generation of significant amounts of effluents with a low concentration, i.e. leads to deterioration of the ecological situation of the environment.

All processes of removing suspended particles from the air include, as a rule, two operations: deposition of particles on dry or wet surfaces and removal of sediments from deposition surfaces.

The action of dust-capturing and separation devices is based on a certain physical mechanism. In dust collectors and separation devices, the following methods are used to separate suspended particles from the weighing medium, that is, air (gas): sedimentation in a gravitational field, sedimentation under the action of inertial forces, sedimentation in a centrifugal field, filtering, sedimentation in an electric field, wet gas cleaning, etc. [2].

Sedimentation under the action of centrifugal forces. The gas-dust mixture is given a rotational movement inside the cyclone device, while the solid particles are thrown by centrifugal force to the periphery of the device to its wall, since the centrifugal acceleration in the cyclone is several orders of magnitude greater than the acceleration of gravity, which allows even quite small particles to be removed from the emission particles. The inertia of dust particles suspended in air flows manifests itself with any changes in the speed of the flow. In the dedusting technique, inertial separation is widely used, which occurs with a relatively smooth but long-term curving of flows.

The movement of a particle in a curved flow in the absence of external influences is described by the equation [2]:

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\tau} w_c. \quad (1)$$

There is an approximate solution to equation (1), while the movement of the particle was considered in a moving coordinate system. The speed of the particle was assumed equal to  $w = v + w_c$ , and its acceleration was determined according to the Coriolis theorem.

Equation (1) can be represented in the form

$$m \frac{dw_c}{dt} + m\omega(\omega R) + m \left( \frac{d\omega}{dt} R \right) + 2m(\omega w_c) = -3\pi d_{\mu} \mu_n w_c. \quad (2)$$

Each of the members on the left side of this equation is a component of the force  $mdw / dt$  with which the particle acts on the air flow, which tends to distort its trajectory and change its speed.

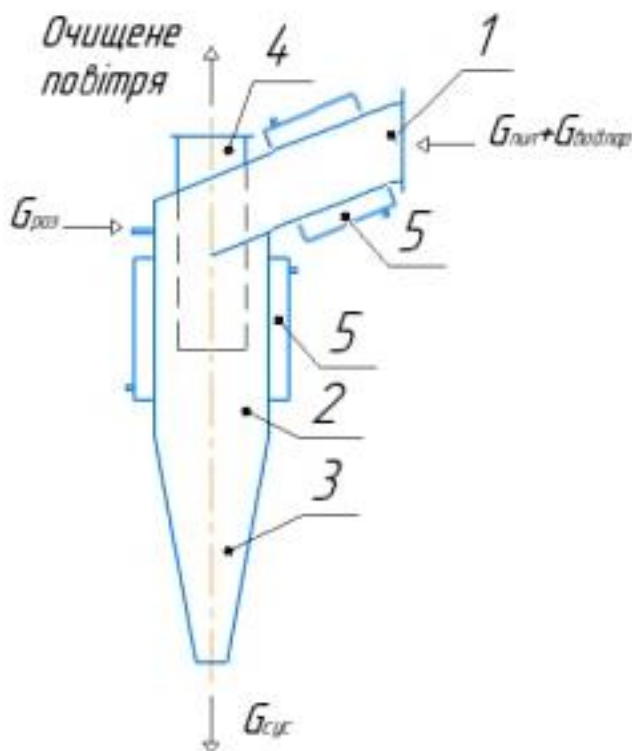
The second term of equation (2) represents the centrifugal force. When studying the inertial separation of dust, for example, in cyclonic dust collectors, only this component of the inertia force is often taken into account.

The first term of equation (2) is related to the acceleration of the separation motion and can be equal to zero only at the speed  $w_c = \text{const}$ , which, as a rule, is impossible. The direction of the force represented by this term depends on the initial conditions of the entry of the particle into the curved part of the flow. Let's assume that when the flow is curved, the speeds of its individual layers change according to the law of areas - the speed of the peripheral layers decreases, and the speed of the central layers increases. At the initial point M, the speed of the flow is equal to its initial speed  $v_0$ . It can be assumed that the restructuring of the flow occurs instantaneously, while the speed of dust particles, equal to this speed of the flow ( $w_0 = v_0$ ), changes relatively more slowly. Due to this, at the initial moment of time  $t = 0$ , we can take  $w_c = v_0 - v(R_0)$ .

Accordingly, in the right part of the stream, the velocity  $w_c$  is directed towards its periphery. It is easy to make sure that the vector  $mdw_c / dt$  is directed in the same direction as the vector of centrifugal force, although it does not always completely coincide with it. To the left of point M, this force is directed towards the center of the flow [2].

To reduce the harmful elements that are formed after the granulation process, it is necessary to modernize the cyclone, shown in Figure 1.

Why is it necessary to supply water to the inner surface of the cyclone. To do this, on the tangential inlet pipe 1 and body 2, we place the casing 5, where the cooling water will be supplied. In addition, water will be supplied to the upper part of housing 2 to reduce the temperature of the heat carrier and dissolve the trapped solid particles.



1 – tangential inlet pipe; 2 – body; 3 – conical part;

4 – axial outlet nozzle; 5 - shell

Figure 1 – Cyclone with a water film



With the help of such upgrades, the percentage of dust capture will increase, because the gas will condense on the walls of the cyclone, and the dust that gets there will go down together with water droplets to the dust collector, because the cyclone will not be able to pick up the particles again that hit the wall. For successful condensation, the temperature of the water on the sides of the cyclone must be lower than the gas temperature, it is optimal to use it with a temperature of less than 100° C. This will lead to the capture of 95-98% of the dust, also the water vapor can be condensed and reused in the granulation process. This modernization of the cyclone apparatus will improve the capture process and ensure the improvement of the ecological situation of the environment.

**References:**

1. Kornienko Y. M. Granulated humic-organic-mineral fertilizers. Method of production / Y. M. Kornienko, S. S. Gaidai, O. V. Martyniuk, A. M. Lyubeka // Chemical industry of Ukraine. – 2015. – No. 1. - P. 44-48.
2. Theoretical foundations of environmental protection, A.G. Vyetoshkin, 204 st., 2012.

УДК 661.72

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ГІДРОЛІЗУ ЗА МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ

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

Інститут технічної теплофізики НАН України

**Анотація:** Розглянуто вплив концентрації лугу (NaOH) в процесі попередньої підготовки соломи пшеничної до гідролізу в роторно-пульсаційному апараті за температури обробки 90°C, та швидкості обертання ротора 47,75 об/с. Результати обробки порівняно з аналогічною обробкою шляхом автоклавування за температури 121°C.

**Abstract:** The effect of alkali concentration (NaOH) in the process of pretreatment of wheat straw for hydrolysis in a rotor-pulsation apparatus at a treatment temperature of 90°C and a rotor rotation speed of 47.75 rps was considered. Treatment results compared to similar treatment by autoclaving at a temperature of 121°C.

**Ключові слова:** біоетанол, солома пшенична, попередня підготовка, конверсія целюлози, роторно-пульсаційний апарат.

**Keywords:** bioethanol, wheat straw, pretreatment, conversion of cellulose, rotor-pulsation apparatus.

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

Головною метою попередньої підготовки лігноцелюлозної сировини до гідролізу є руйнування гетерогенної матриці, збільшення площі поверхні та

пористості целюлозного матеріалу, а також звільнити вуглеводи від зв'язку лігніну, тим самим покращуючи ферментативну засвоюваність [1].

Перетворення полісахаридів являє собою ефективність гідролізу лігноцелюлозної біомаси на основі її попередньої обробки та доступності для ферментів. За ідеальних умов усі полісахариди в лігноцелюлозній біомасі гідролізуються в моносахариди. Зазвичай не всі полісахариди можуть бути кількісно гідролізовані в моносахариди. Залишаються деякі полісахаридні ланцюги, особливо найменш доступні.

Зв'язок між попередньою підготовкою лігноцелюлозної сировини та ступенем конвертації целюлози в результаті ферментативного гідролізу вивчалась багатьма авторами, зокрема [2].

**Метою роботи** було визначення впливу обробки лужної дисперсії соломи пшеничної в роторно-пульсаційному апараті на швидкість конверсії целюлози в результаті ферментативного гідролізу.

**Матеріали і методи.** Сировиною була солома пшениці наступного складу (% мас./мас.): целюлоза 45,6 %, лігнін 17,1 %, екстрактивні речовини 5,4 %, геміцелюлози 25,8 %, зола 4,2 %, подрібнена до середнього розміру частинок 0,1...0,4 мм. Обробка лужної суспензії соломи пшеничної відбувалась в дослідній установці з реактором-змішувачем, що є роторно-пульсаційним апаратом. Відділені після попередньої обробки, нейтралізовані, відфільтровані, промиті та висушені зразки було піддано ферментативному гідролізу із використанням 35 FPU/г целюлази з *Trichoderma reesei* (Celluclast 1,5 L) і 61,5 FPU/г целюлази з *Aspergillus niger* (Novozym 188) в цитратно-натрійовому буфері (рН 4,8, 50 мМ). Потім гідролізат центрифугували для збору супернатанту для визначення виходу мономерного цукру за допомогою ВГРХ.

## **Результати**

Порівняння результатів попередньої підготовки соломи пшеничної (гідромодуль 1:10) до гідролізу методом дискретно-імпульсного введення енергії за температури обробки 90°C, за швидкості обертання ротора 47,75 об/с та автоклавуванням за температури 121°C протягом однієї години за різних концентрацій лугу представлено на рисунку 1.

З рисунку можна зробити висновок, що обробка методом дискретно-імпульсного введення енергії призводить до підвищення швидкості конверсії целюлози для всього діапазону концентрацій лугу. Так, при концентрації лугу 1% підвищення швидкості конверсії целюлози склала 48,7% при автоклавуванні та 53,4% при обробці. Для концентрації лугу 2% швидкість конверсії целюлози склала 57,8 та 65,85 % відповідно. Для концентрації лугу 4% швидкість конверсії целюлози склала 64,6 та 73,59 % відповідно. Вміст лігніну після попередньої обробки 1% концентрацією лугу становив 3,9% в автоклаві та 3,67% в обробці. Для концентрації лугу 2% вміст лігніну становив 3,45 і 2,99% відповідно. Для концентрації лугу 4% вміст лігніну становив 2,6 і 2,3% відповідно.

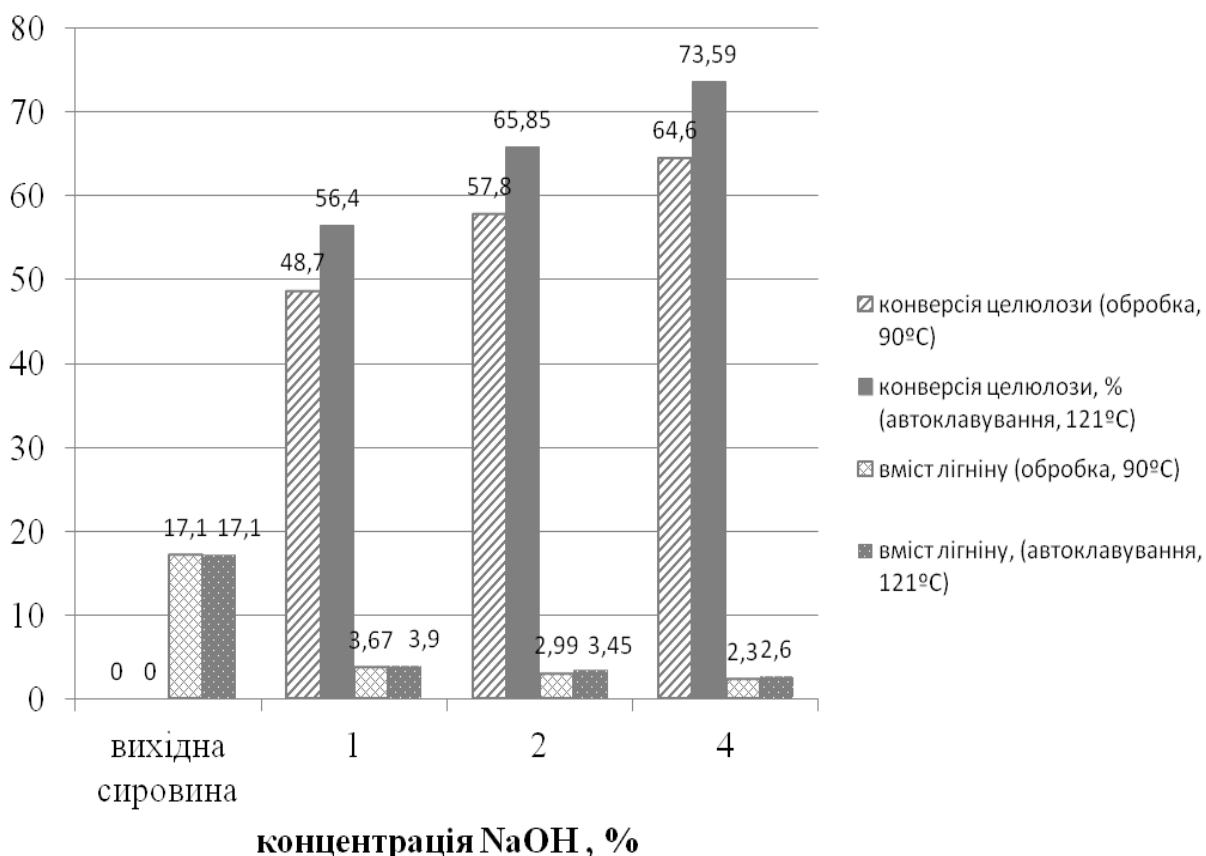


Рис. 1. Залежність конверсії целюлози в результаті ферментативного гідролізу після попередньої обробки в автоклаві (121°C) та дискретно-імпульсним підведенням енергії (90°C; швидкість обертання ротора 47,75 об/с) при концентраціях лугу 1, 2 і 4 (% мас)

**Висновок:**

В результаті досліджень було встановлено, що підвищення концентрації лугу протягом лужної попередньої підготовки соломи пшеничної шляхом обробки методом дискретно-імпульсного введення енергії призводить до підвищення швидкості конверсії целюлози при наступному ферментативному гідролізі. Визначено, що обробка сприяє підвищенню швидкості конверсії целюлози в порівнянні з автоклавуванням.

**Перелік посилань:**

1. Toquero, Cristina & Bolado, Silvia. Effect of four pretreatments on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of wheat straw. Influence of inhibitors and washing. Bioresource technology. 2014. 157, P. 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.090>
2. Zheng, Q., Zhou, T., Wang, Y. et al. Pretreatment of wheat straw leads to structural changes and improved enzymatic hydrolysis. Scientific Reports. 2018. 8, P. 1321. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19517-5>

УДК 661.72

**MODERNIZATION OF THE PLANT FOR THE PRODUCTION OF  
COMPLEX ADDITIVES FROM THE SALT MELT WITH THE  
EXPANSION OF THE EVAPORATION APPARATUS**

Student Lapin Y.M., associate professor, Ph.D. Hulienko S. V.,  
professor, Ph.D. Marchevskiy V. M.

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

***Abstract:** The production of fertilizers with granulation of salt melts is considered. The technological scheme and its description are given.*

***Key words:** salt melt, granulation, evaporation apparatus.*

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КОМПЛЕКСНИХ  
ДОБРІВ З СОЛЬОВОГО ПЛАВУ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО  
АПАРАТА.**

Студент Лапін Я.М., доцент, к.т.н. Гулієнко С.В.,  
професор, к.т.н. Марчевський В. М.

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

***Анотація:** Розглянуто виробництво добрив із гранулюванням сольових плавів. Наведено технологічну схему та її опис.*

***Ключові слова:** сольовий плав, гранулювання, випарний апарат.*

The purpose of granulation is to obtain a substance in the form of a loose, non-adhering product consisting of uniform, strong granules with a diameter of 1.5-3 mm.

The granulation process is carried out in special apparatuses-granulation towers. The towers mainly granulate mineral fertilizers that can be obtained in molten form: ammonium nitrate, urea, complex fertilizers containing nitrogen,

phosphorus, and potassium. The float is sprayed in the upper part of the tower with the help of centrifugal, static or vibrating granulators, which are devices for obtaining the most equal-sized drops of melt and for their distribution in the tower along various trajectories.

The main requirements for granulators used in granulation towers are as follows: obtaining uniform drops of a given diameter without intensive dust formation; Uniform distribution of drops (granules) over the entire volume of the tower; long run of the granulator without clogging; reliable operation of the granulator mechanisms; the ability to work in a wide range of loads with a stable granulometric composition of the product; simplicity of operation high corrosion and erosion resistance; ability to adjust the size of pellets while maintaining their uniformity: eliminating the possibility of collision of pellets in flight.

Currently, melts of ammonium nitrate, urea, and complex fertilizers are pelletized in the industry. The physical properties of industrial melts subject to granulation are different. The viscosity of melts at the spray temperature is very different.

During melt granulation, physical properties such as viscosity and surface tension undergo rapid changes after they flow out of the granulator holes. For these reasons, the value of the surface tension coefficient of the melt undergoes even greater changes.

Solid impurities contained in the melt have a great influence on the process of effluent flow and granule formation. The amount of solid impurities in the melt depends on many factors: the type of additive used, the technology of its preparation, the quality of softened water, and the specifics of the technological scheme of production. In some cases, a scale-like film of salts is deposited on the surfaces of pipelines, granulator tanks, and flow holes in contact with the melt. If you do not apply special hydrodynamic modes of operation of the granulator, then the holes are often clogged after several hours of operation.

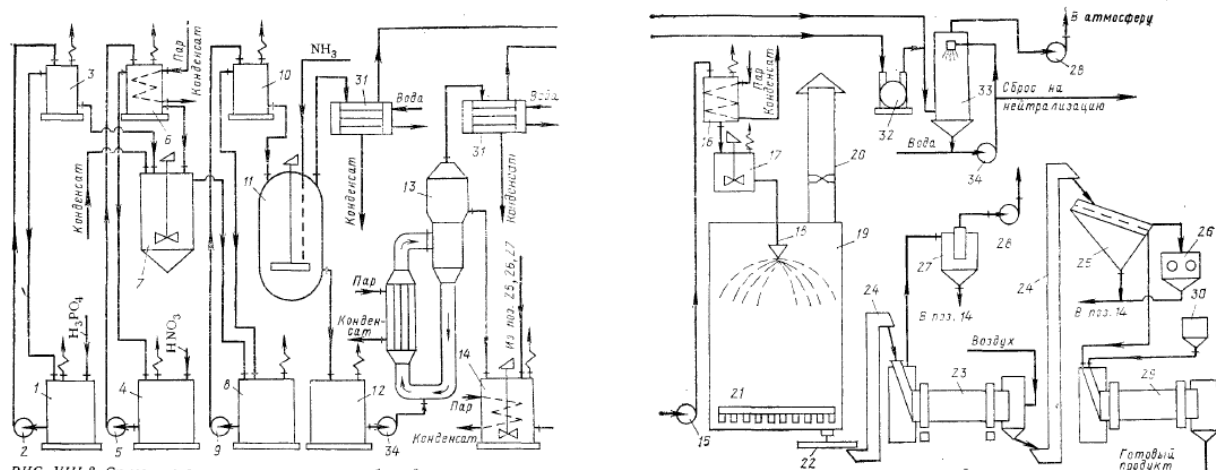


Complex fertilizer float is a mixture of NP fertilizer float and powdered potassium chloride. The properties of this dispersed system are even more variable with temperature changes.

For granulation of complex fertilizer floats and floats with a large amount of sludge, granulators are necessary that allow the use of relatively large flow holes, but allow you to get fairly uniform pellets of a given size without sticking and clumps of water in the tower. Centrifugal granulators are most acceptable here.

**of production of complex fertilizers from salt melt is shown in**

**figure 1.**



1 - collection  $H_3PO_4$ ; 2, 5, 9, 15, 34 - pumps; 3 - pressure tank for  $H_3PO_4$ ; 4 -  $HNO_3$  collector; 6 - pressure tank for  $HNO_3$ ; 7 - mixer; 8 - collection of replacement acids; 10 - pressure tank; 11 - neutralizer; 12 - collector; 13 - evaporator with remote heating chamber; 14 - collection for swimming; 16 - pressure tank for melt; 17 - mixer; 18 - granulator; 19 - granulation tower, 20 - fan; 21 - scraper, 22 - belt conveyor; 23 - cooling drum, 24 - elevator; 25 - screen, 26 - crusher, 27 - cyclone; 28 - fans; 29 - drum-conditioner; 30 - bunker for powdering additive; 31 - capacitor; 32 - vacuum pump; 33 - scrubber

Figure 1 – Technological scheme

Phosphoric acid with a concentration of 52-54%  $P_2O_5$  from the collector 1 pump 2 through the pressure tank 3 is fed into the mixer of acids 7. Here from the collector 4 pump 5 is supplied with nitric acid concentration of 47-56%  $HNO_3$ . The mixture of acids from the mixer 7 enters the collector 8, from where it is sent by pump 9 through the shut-off tank 10 to ammonization saturator 11. Ammonization of the acid mixture is carried out at atmospheric pressure with gaseous ammonia to a pH of about 4,5. Due to the heat of the neutral reaction neutralization of acids in the saturator develops a temperature of 115-120 °C. Part of the water on the reaction mixture evaporates. The gas-vapor mixture from the saturator passes through condenser 31, where water vapor is condensed, and then enters absorber 33, where it is purified from ammonia.

The nitrate-phosphate solution from the saturator with a moisture content of 22-26% enters the collector 12, from where it is sent by a pump 34 to a vacuum evaporator 13 with an external heating chamber and natural circulation. Evaporation of the solution is carried out at a residual pressure of 28-30 kPa and a temperature of 170 °C. Heating steam is supplied to the heating chamber of the vacuum evaporator at a pressure of 1.3-1.5 MPa. The vapor-gas mixture released during evaporation enters the condenser 31, where water vapor is condensed. Uncondensed vapors and gases are fed by a vacuum pump 32 for purification into an absorber 33 irrigated with water, and then by a fan 28 they are thrown into the atmosphere.

The melt of nitroammophos with a moisture content of up to 1% from a vacuum evaporator it enters the heated collection 1. From here, the melting pump is 15 years old. They are fed into the pressure tank 16 and then into the granulation tower 19.

In most modern workshops producing complex fertilizers in floating, evaporators are installed directly on granulation towers, which increases the overall height of the latter, HO removes the difficulties associated with the supply of

easily crystallizing melts with volume (1.45-1.55 g/cm<sup>3</sup>) to a greater height. K Same high density

When obtaining NPK fertilizers, the melt of nitroammophos in mixer 17 is mixed with potassium chloride, due to the reactions occurring during the interaction of the NP-melt with potassium chloride, the viscosity of the salt system increases with time. In this regard, the residence time of KS1 in the mixer should be minimal (as a rule, no more than 30 s).

Sprinkling of the melt in the granulation tower is carried out by a centrifugal type granulator with a conical perforated shell. Melt droplets formed during splashing crystallize in the process of falling due to their cooling by air drawn through the tower by fan 20.

The pellets that have fallen to the bottom of the tower are removed with a scraper and fed to DILNIK 23, where they are air-cooled from 85-95 to 40-45°C. Some drying of the granules also occurs during the cooling process. Next, the granulated product is classified and conditioned. Re-tour. which is a granule of non-standard size, is returned for dissolution to the melt collector 1. The amount of re-ture usually does not exceed 5-8% of the amount of the finished product.

The the evaporator is the main apparatus in considered technological scheme. Therefore the miomodernization of thechnological sheme souhld include the modernisation of this apparatus.

## References

1. Fundamentals of complex fertilizer technology. A. Kononov.-1988.

УДК 662.749.351

**MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH  
DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM  
GENERATOR**

graduate student Lytvyn Oleksandr, professor George Ivanytskyi,

associate professor, Ph.D Andrii Stepaniuk

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**Abstract.** *A description of the technological scheme of benzene purification is given. The main advantages and disadvantages of the existing apparatus are determined. It is proposed to modernize the existing apparatus to improve the efficiency of benzene purification.*

**Keywords:** BENZENE, DISTILLATION COLUMN, STEAM GENERATOR.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ БЕНЗОЛУ З  
РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА**

магістрант Литвин О.В., д.т.н., проф. Іваницький Г.К.,

к.т.н, доц. Степанюк А.Р.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація:** Наведено опис технологічної схеми очистки бензолу. Визначено основні переваги і недоліки існуючого апарату. Запропоновано модернізацію існуючого апарату для підвищення ефективності очищення бензолу.

**Ключові слова:** БЕНЗОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА,  
ПАРОГЕНЕРАТОР

Benzene, or phenyl hydrogen is an organic chemical compound with the molecular formula  $C_6H_6$ . The benzene molecule is composed of six carbon atoms joined in a planar ring with one hydrogen atom attached to each. Because it contains only carbon and hydrogen atoms, benzene is classed as a hydrocarbon.

Like unsaturated hydrocarbons, benzene burns with a highly smoky flame. Forms explosive mixtures with air, mixes well with ether, gasoline, and other organic solvents, with water forming an azeotropic mixture with a boiling point of  $69.25\text{ }^\circ\text{C}$  (91% benzene). Solubility in water  $1.79\text{ g/l}$  (at  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ).

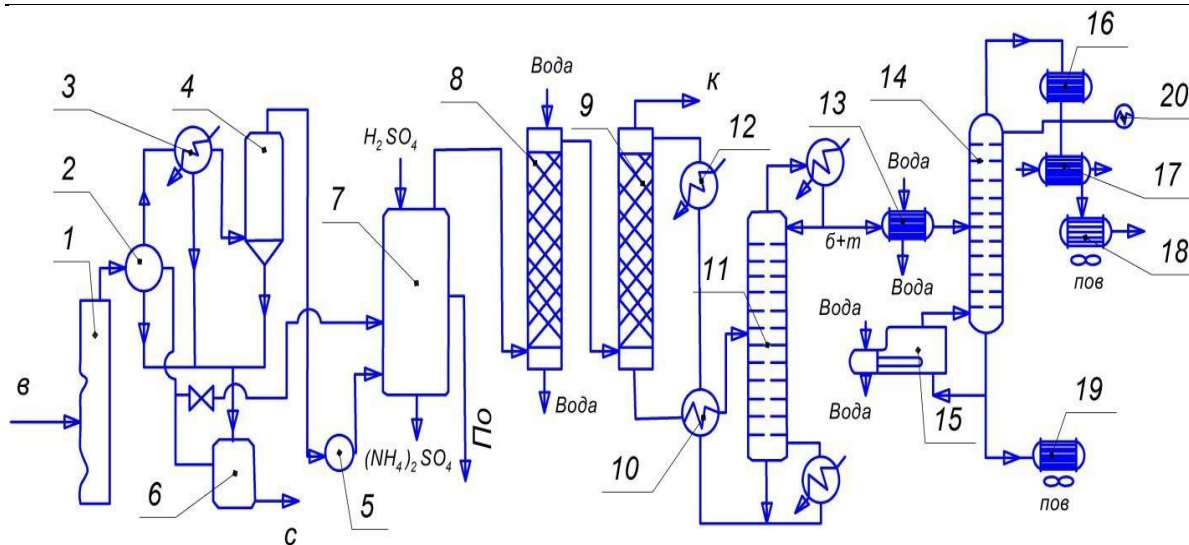
Benzene is a natural constituent of crude oil and is one of the elementary petrochemicals. Due to the cyclic continuous pi bonds between the carbon atoms, benzene is classed as an aromatic hydrocarbon. Although a major industrial chemical, benzene finds limited use in consumer items because of its toxicity.

Benzene is the main component of gasoline. It is also used to create veterinary, medical products, synthetic rubber, dyes, plastics, and many other elements. It is also part of crude oil, but in industry, it is synthesized from other components [1].

The main structure in the purification of benzene is the rectification column.

Rectification column is designed for separation of liquid mixtures, components of which feature different boiling points. The rectification column refers to a vertical cylinder with contact devices mounted inside [2].

The technological scheme of the benzene purification process is shown in Figure 1 [3].



1 - coke oven; 2 - gas pipe; 3, 8, 12 - refrigerators; 4 - electrostatic precipitator; 5 - gas blower; 6 - separator; 7 - installation for the capture of ammonia and pyridine warnings; 9 - absorber; 10, 13, 16, 17, 18, 19 - heat exchangers; 11 - desorber; 14 - distillation column, 15 - steam generator; 20 - heater; в - coal; с - resin; По - pyridine bases; к - coke oven gas; б+т - crude benzene and toluene; пов – air

Figure 1 - Technological scheme of benzene purification

The main sources of benzene are coking coal products (coke gas and coal tar) and petroleum products. The resulting coke gas is passed through an efficient system of condensers and scrubbers to separate the products that are part of it.

Volatile coking products (direct coke gas) from furnace 1 enter through risers into the gas collection pipeline 2. Primary cooling and condensation of gas occurs due to the evaporation of ammonia water, which is pumped into the pipeline through special sprinklers. The coking products are cooled to 85-90 ° C, a part is condensed. From the gas collection pipeline, the coke gas enters the refrigerator 3, which is cooled to 30-35 ° C, while an additional amount of resin is condensed. The gas coming out of the refrigerator contains tar mist and passes through an

electric filter 4 to separate it, after which it is sent to the unit 7 by a gas blower 5 to capture ammonia and pyridine bases.

Condensate from the gas pipeline 2 of the refrigerator 3 and the electrofilter 4 is separated in the separator 6 into organic and aqueous layers. The organic layer is coal tar containing high-boiling organic substances; is sent to the "tar" shop for processing. The aqueous layer (ammonia water) is partly returned to the collecting pipe 2 for primary cooling of the coking products, and partly directed to the same place where the coke gas goes after the electrostatic precipitator: to unit 7. This unit has an ammonia evaporator from ammonia. of water, a saturator for absorbing bases with sulfuric acid, an ammonium sulfate crystallizer, an apparatus for displacing pyridine bases with ammonia from their sulfates.

The gas after installation 7 contains vapors of volatile organic compounds (benzene, toluene). To catch them, the gas is cooled with water in the refrigerator directly 8 mixing and sent to the absorber 9, irrigated with absorbent. The so-called return coke gas coming from the absorber is used to heat the coke ovens. A significant part of the gas goes to chemical processing. The saturated absorbent oil coming from the lower part of the absorber passes through the heat exchanger 10, which is heated by the regenerated return oil and enters the desorber 11. There is a distillation in which a mixture of light aromatic compounds (crude benzene) is distilled. The crude oil released from the crude benzene gives heat to the saturated oil of the heat exchanger 10, is further cooled in the refrigerator 12 and is again used to absorb benzene hydrocarbons from the coke gas.

The aim of the diploma project is to modernize the rectification column.  
Advantages:

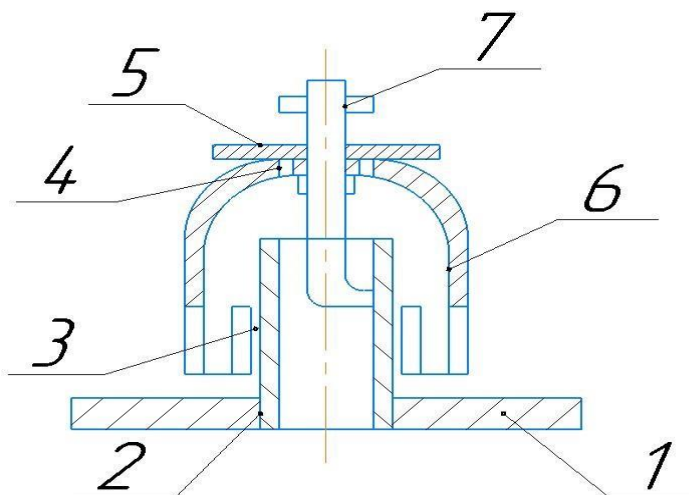
- High productivity
- Simplicity of design

Disadvantages:

- In the event of an emergency increase in steam consumption, the column stops working efficiently

This disadvantage of the column is proposed to be eliminated thanks to the installation of a cover on the cap, which, in case of an emergency increase in steam, rises and the excess steam escapes.

The figure 2 shows us the scheme of the modernized cap of the rectification column.



- 1 – body of the plate, 2 – tube, 3 – slits, 4 – canal, 5 – plate (modernization),  
6 – cap, 7 – nut

Figure 2 – the scheme of the column cap modernization.

In this way, the disadvantage of the rectification column was eliminated and the reliability of the design and the safety of the benzene purification process were ensured.

#### References:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>
2. <https://bts.net.ua/eng/column/column2/>
3. Rusyanova N.D. Carbon chemistry. - M.: Nauka, 2000. - 289 p.



---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ

Цюпяшук А.М., Костогриз К.П., Хвастухін Ю.І.

*Інститут газу НАН України, м. Київ, Україна*

Переробка відходів та продуктів вуглезбагачення, таких як вугільні шлами є актуальною не тільки з точки зору зменшення екологічного навантаження на оточуюче середовище а і в аспекті ефективного використання викопних палив.

Однією з проблем розробки ефективних технологій вилучення паливної складової є процес сушіння шламів, оскільки їх висока вологість робить переробку таких відходів нерентабельною. Додатковою проблемою в технології сушіння є висока дисперсність відходів, їх здатність до агломерації та налипання, а також здатність до займання при відносно невисоких температурах. Для оцінки доцільності переробки паливовмішуючих відходів та визначення технології сушіння необхідно встановити їх початкову вологість, здатність до агломерації, зольний залишок, температуру займання, фракційний склад та динамічні характеристики процесу сушіння.

З метою одержання вихідних даних для розробки оптимальної технології сушіння та виконання техніко-економічних розрахунків, на лабораторних стендах Інституту газу було проведено дослідження продукту вуглезбагачення вугільних шламів одного з українських вугільних родовищ. Досліди з динаміки сушіння проводились в муфельній печі при температурі (Т) 105 °С для запобігання вилучення летких компонентів вугільного шламу. Періодичність відбору даних із двох зразків матеріалу складала 10 хв. Розміри фракції  $d_{фр}$  вихідного матеріалу згідно ситового аналізу складають: 0 ... 0,25 мм — 30%;

0,315 ... 0,63 мм – 50%; 1 ... 2,5 мм – 20%. Результати динаміки сушіння показано на рис. 1.

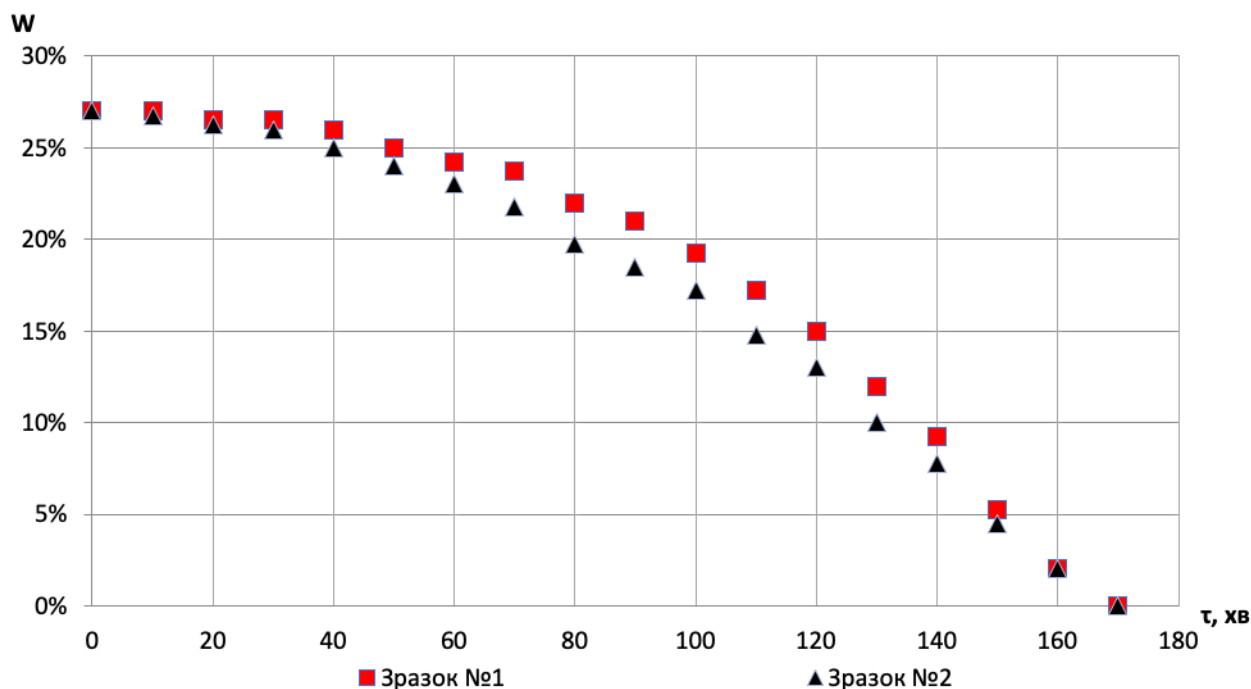


Рисунок 1 – Динаміка сушіння вугільного шламу

Як видно з графіку початкова вологість матеріалу (W) складає 27%. Сушіння в муфельній печі вугільного шламу триває 3 години. Впродовж цього часу спостерігаються три етапи сушіння. Прогрівання матеріалу протягом перших 30 хвилин. Далі відбувається етап інтенсивного сушіння та видалення незв'язаної вологи котрий триває 2 години. Останній етап виділення залишкової вологи з мікропор триває протягом останніх 20 хвилин.

Наступним етапом з оцінки доцільності переробки вугільних шламів є визначення зольності даного матеріалу. Для цього проводилося прокалювання матеріалу в тиглі при температурі 1000 °С. Результати представлено на рис. 2.

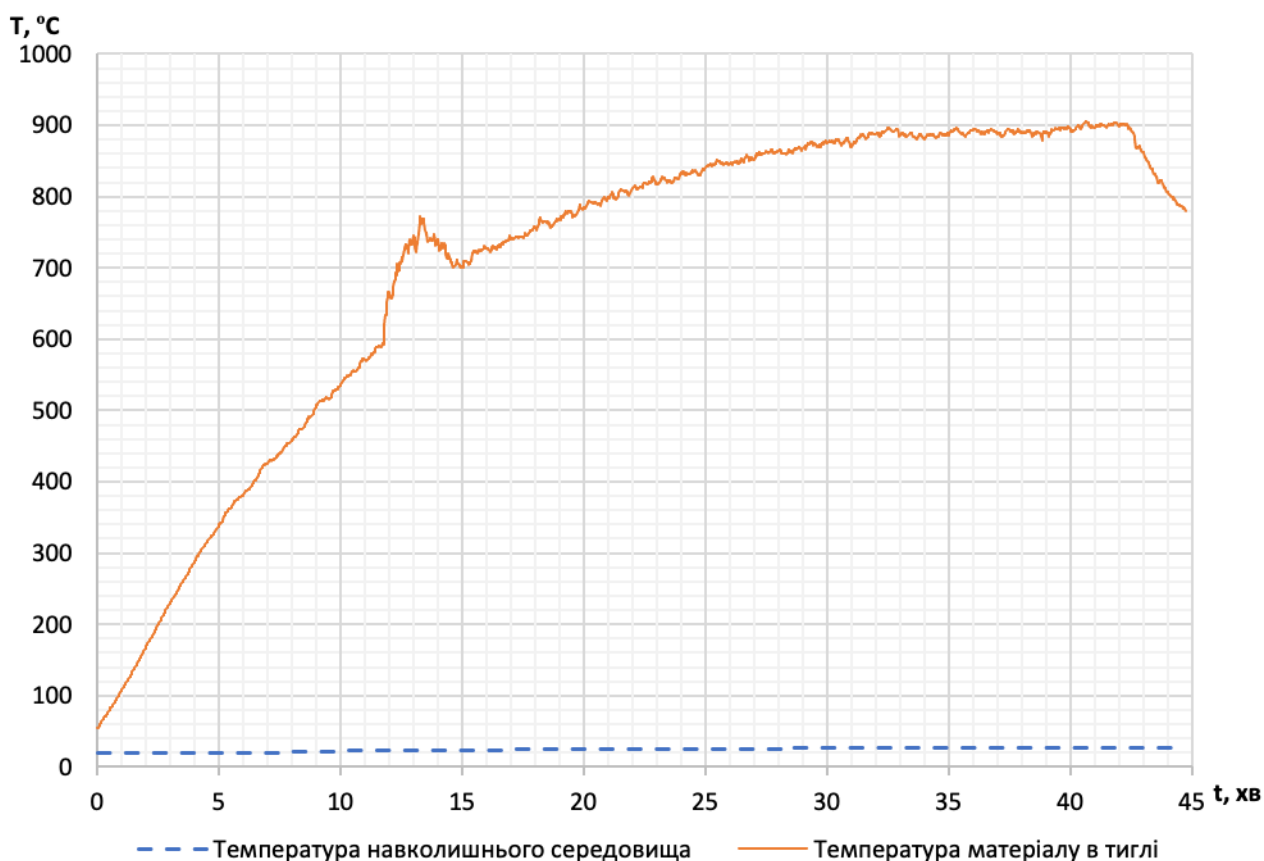


Рисунок 2 – Прокалювання вугільного шламу в тиглі

Даний графік дозволяє визначити температуру самоzapалювання матеріалу, котра складає 590 °C і відбувається на 12 хвилині нагрівання матеріалу. Самоzapалювання матеріалу призводить до різкого зростання температури, що і видно на рис. 2 за характерним піком між 12 та 15 хвилинами. Згідно з результатами прокалювання вугільного шламу його зольність складає 22%.

За результатами досліджень збагаченого вугільного шламу можна зробити наступні висновки: відносно низька вологість матеріалу (27%) та мала зольність (22%) свідчать про економічну доцільність переробки такого відходу для використання в якості палива. Наявність летких сполук, що самоzapалюються при температурі 590 °C обмежує максимальну допустиму температуру нагріву матеріалу та теплоносія для його сушіння, а також

дають підстави для вибору напрямку застосування даного матеріалу як палива.

Одержані результати будуть використані для розробки технології та вибору режимних параметрів цього процесу а також для виконання техніко-економічного обґрунтування.

## **ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В МОБІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРАХ**

к.т.н., пр. н. с. Коник А.В., пр. інженер Хоменко М. В.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

Акумулювання теплоти набуває широкого розповсюдження на кожному з етапів теплопостачання: при генерації, транспортуванні, розподіленні та у споживача. Застосування різних технологій та обладнання дозволяє забезпечити різну теплову потужність, температурний діапазон та час акумулювання. Одним з найбільш перспективних напрямків є акумулювання на основі технології прихованого (латентного) зберігання енергії або теплоти фазового переходу. В якості робочого тіла використовують матеріали або речовини з фазовим переходом. Таку технологію застосовують у мобільних теплових акумуляторах, оскільки основною перевагою є значна теплопродуктивність при відносно не великих об'ємах. Також важливим аспектом є температурний діапазон, який забезпечується температурою фазового переходу підібраної речовини чи матеріалу.

Необхідно зазначити, що не існує універсального матеріалу з фазовим переходом (далі PCM, Phase Change Materials), що забезпечує різні робочі температури та інші технологічні показники. Тому новим напрямком у хімічних технологіях, що динамічно розвивається, є створення композицій матеріалів з фазовим переходом з різноманітними тепловими характеристиками. Важливим фактором їх застосування є нетоксичність, пожежо-вибухобезпечність, оскільки PCM працює в ємності, що весь час рухається громадськими шляхами.

Для отримання якісних і безпечних PCM в Institute Fraunhofer UMSICHT на основі комплексних робіт розроблено документ [1] з

основними поняттями, параметрами та методологією, за якою відбувається дослідження і сертифікація нових матеріалів з фазовим переходом.

Згідно [1] основними параметрами, що регламентують адекватну роботу РСМ і нормуються є:

- діапазон температур фазового переходу і кількість накопиченої теплової енергії (п.3.5.1.1 Дозволені методи вимірювання, п.3.5.1.2 Зміст результатів випробувань та протоколу випробування, п.3.5.1.3 Виконання вимірювання);

- теплопровідність (п.3.5.2.1 Дозволені методи вимірювання, п.3.5.2.2 Зміст результатів випробувань та протоколу випробування, п.3.5.2.3 Виконання вимірювання);

- стабільність при термоциклюванні (п.3.5.3.1 Дозволені методи вимірювання, п.3.5.3.2 Зміст результатів випробувань та протоколу випробування, п.3.5.3.3 Виконання вимірювання);

- перевірка критеріїв якості.

За останні роки в Європі, Китаї та Японії були побудовані мобільні теплові акумулятори (далі М-ТЕС, Mobile Thermal Energy Storage), що застосовують різні за складом РСМ. Переважно, це композиції, що були створені для певних умов, в яких працює кожний окремий М-ТЕС, відстань транспортування від 2 до 20 км від джерела теплоти до споживача [2]. У таблиці 1 представлено основні характеристики транспортування.

Таблиця 1. – Характеристики транспортування теплової енергії М-ТЕС

Теплова продуктивність	РСМ, об'єм	Джерело теплоти	Споживач	Дистанція транспортування, км	Розробник

**Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

1	2	3	4	5	6
200 кВт/год	тригідрат ацетату натрію	будь-яке з температурою до 115	-	-	Institute Fraunhofer UMSICHT [3]
2,3 МВт/год	Zeolite (14 tons)	пар від смітте- спалювального заводу	для заряджання сховища гарячим повітрям 130 °C і процесу сушіння	7	research center ZAE Bayern [4]
4 МВт/год	гідроксид барію (25 м <sup>3</sup> , LSG Sky Chefs)	відпрацьоване тепло від електростанції	кухні електростанції	-	by LSG Sky Chefs, Cologne [5]

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
-	-	відпрацьована пара заводу електроніки SANYO	попередній підігрів зворотної води котла	20	Osaka, Japan [6]
-	-	тепло збиралось з очисних споруд у	міська гімназія	2,5	

**Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

		м. Кійосе			
-	-	утилізації вихлопних газів із печі відпалу сталеливарного заводу в м. Осака	громадська лазня	3	
6,5 ГДж	НЕСМ- WD03 з додаванням рідко-земельних елементів	відпрацьоване тепло сталеварного заводу в м. Даляна	сусідні готелі	-	Zhongyineng (Beijing) Technology Co, China [7]
-	-	відпрацьована пара електростанції	опалення сусідньої школи	-	Qingdao Aohuan New Energy Group Co., Ltd., China [8]

Застосування M-TES дозволяє вирішити низку проблем, пов'язаних з забезпеченням віддалених поодиноких споживачів при виникненні надзвичайних ситуації. Майже у всіх випадках використання M-TES джерелом теплоти є потужні вторинні ресурси, що розташовані неподалік від споживача. ВТЕР, що вивільняються під час роботи підприємств, дозволяють знизити не лише викиди в оточуюче середовище, а й застосувати їх з максимальною вигодою. Теплова енергія від ВТЕР має різні потужності, тому і обладнання, а саме РСМ підібрано відповідно до вихідних умов. У кожному з описаних випадків використовували різні РСМ матеріали, що відповідають реальним умовам експлуатації. Як правило, їх склад та



характеристики є предметом захищеним правом інтелектуальної власності, тому технічних характеристики не розголошуються.

В Інституті технічної теплофізики НАН України проводяться роботи над складом РСМ матеріалів, що можуть застосовуватись в об'ємі та при витіканні в каналах [9-12]. Частина розробок використана в мобільному акумуляторі 0,5 МВт у якості акумуляційної рідини.

Перелік посилань

1. Phase Change Materials (Phasenwechselmaterial). Gütesicherung. Quality Assurance RAL-GZ 896, Edition March 2018. DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E.V.

2. Shaopeng Guo, Jun Zhao, Alexandre Bertrand, Jinyue Y / Mobilized thermal energy storage for clean heating in carbon neutrality era: A perspective on policies in China Energy and Buildings Volume 277, 15 December 2022, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112537>

3. Mobile latent heat storage unit, efficient use of waste heat (2013). Fraunhofer Umsicht, 2.

4. A. Krönauer, E. Lävemann, S. Brückner, and A. Hauer, Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery. Energy Procedia, 2015. 73: p. 272-280 <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.688>

5. W. Wang Mobilized thermal energy storage for heat recovery for distributed heating. Mälardalen University (2010)

6. Y. Fujita, I. Shikata, A. Kawai, H. Kamano, Latent heat storage and transportation system "TransHeat container", in: IEA/ECES Annex 18 1st Workshop and Expert Meeting, Tokyo, Japan, 2006.

7. Zhongyineng Beijing Technology, M-TES container, <http://www.zhongyineng.com/product/l25.html>. Online; accessed 2022-9-17.

8. Qingdao Aohuan New Energy Group, M-TES vehicle, <http://www.qdaohuan.com/page45>. Online; accessed 2022-9-17.

9. Demchenko V.G., Konyk A.V. Research of heat accumulation capacity binary water systems / <http://www.iosrjournals.org/iosr-jac.html> <https://doi.org/10.9790/5736-1306010107>

10. Коник А.В., Демченко В.Г. Дослідження властивостей низькотемпературного теплоакumuлюючого матеріалу з фазовим переходом // Збірник тез доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" 25-26 листопада, Київ 2020, с. 31-34

11. Демченко В.Г., Коник А.В., Фалько В.Ю. Заявка на винахід № а2021 07588 «Акумуляційна рідина для систем опалення та охолодження».

12. Демченко В.Г., Коник А.В. Заявка на винахід № а2021 01559 «Мобільна система зберігання теплоти»

УДК 624.21

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ МОСТОВИХ СПОРУД

*Доц. к.т.н., Рубльов А.В.*

**каф. Мостів тунелів та гідротехнічних споруд НТУ**

Інтенсивний розвиток конструкційних композитних матеріалів почався в 1960-х рр., коли завдяки успіхам хімічних технологій з'явилися високоміцні і високомодульні (що володіють високими модулями пружності) волокна: борні, вуглецеві, карбідокремнієві, оксидні, органічні. Волокна, ниткоподібні монокристали та ін. Властивості деяких видів волокон і армованих ними матеріалів демонструють можливість їх використання в об'єктах транспортного будівництва. Порівняно з традиційними матеріалами які використовуються у мостобудівельній галузі, висока міцність волокон дає широке поле для їх застосування, як в конструктивних так і в несних елементах. Хоча існує ймовірність того, що волокна, об'єднані в "матрицю" містять дефекти, які викликають крихке руйнування структури, що важко виявити. Ниткоподібні ж монокристали, або "вуса", що мають практично досконалу, бездефектну структуру, мають міцність, близьку до фізико-механічних показників традиційних матеріалів. Для реалізації властивостей волокон або інших дискретних компонентів, наприклад порошків, служить матриця, яка об'єднує всі компоненти композитних матеріалів, захищає волокна від зовнішніх впливів, що сприяє рівномірному розподілу навантажень між окремими волокнами і дозволяє створювати конструкцію необхідної міцності та деформативності.

Міцність при розтяг композитного матеріалу з безперервними волокнами може бути визначена за формулою

$$\sigma_{км} = \sigma_f V_f + \sigma'_m (1 - V_f) \quad (1)$$

$\sigma_f$  - міцність волокон,

$\sigma'_m$  - напруження в матриці в момент руйнації волокон,

$V_f$  - об'ємна доля волокон у композитних матеріалах.

Зміцнюючий ефект волокон у композитних матеріалах спостерігається лише коли їх змістовність перевищує значення  $V_{кр}$ ; при  $V < V_{кр}$  роль волокон аналогічна дефектам в матриці, що призводить до зниження міцності у відповідності з рівнянням

$$\sigma_{км} = \sigma'_m (1 - V_f) \quad (2)$$

Для більш точного розрахунку міцності, необхідно в ці формулу ввести ряд коефіцієнтів, що враховують дисперсію міцності волокон, їх часткову разорієнтацію, наявність внутрішніх напружень, пористість матриці та інше. Саме це характеризує широке дослідницьке поле для мостової галузі.

Оскільки в даний час застосування композитних матеріалів для мостових прогонових будов апробовано в країнах Північної Америки та Західної Європи, де побудовано і успішно експлуатується на автошляхах десятки мостів з прогонами від 11 до 90м., розвиток їх досліджень та впровадження результатів, одне з перспективних напрямлень мостової галузі.

#### Перелік посилань:

1. Sperling, L. H. (Leslie Howard). [Introduction to physical polymer science](#) (неопр.). — Hoboken, N.J.: Wiley, 2006. — С. 10. —

2. Glomb J. Pontifex maximus. Ponad przestzenia i czasem. / J. Glomb // - Gliwice: PG, 1997 - 232

3. Radomski W. Poszerzanie mostów. / W. Radomski, A. Kasparzak // - Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2017. - 341 s.

4. Колосюк Д. С. Зеркалов Д. В. Експлуатаційні матеріали. – К.: Арістей, 2007. – 241 с. 14. Копань В.С. Композиційні матеріали. – К.: Пульсари, 2007.- 196с.

5. Гарнець В. В., Коваленко В. М. Конструкційне матеріалознавство. – К.: Либідь, 2008. – 384 с

УДК 664.8.047

**МОРФОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯГІД ЛОХИНИ  
ЯК ОБ'ЄКТА СУШІННЯ**

Слободянюк К.С., к.т.н., с.н.с., Петрова Ж.О., д.т.н., г.н.с.,  
Граков О.П., аспірант

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Анотація.** Робота присвячена аналізу ягід лохини як об'єкта сушіння. Визначено основні особливості структури ягід лохини, які впливають на основний процес та енерговитрати.

**Ключові слова:** СУШІННЯ, ЯГОДИ, ЛОХИНА, ВОЛОГІСТЬ, ВІСК, МАСООБМІН.

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BLUEBERRY AS AN  
OBJECT OF DRYING**

Slobodianiuk K., PhD, Senior Researcher, Petrova Zh., Dr. Sci., Chief  
Researcher, Grakov O., PhD student

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Abstract.** The work is devoted to the analysis of blueberry berries as an object of drying. The main features of the structure of blueberry berries, which affect the main drying process and energy consumption, have been determined.

**Keywords:** DRYING, BERRIES, BLUEBERRY, MOISTURE CONTENT, WAX, MASS TRANSFER.

Розмір та маса ягоди, вміст кісточок, наявність шкірки та її властивості – технологічні властивості сировини, які є надважливими характеристиками для сушіння ягід [1].

Ягода лохини складається з шкірки з восковим нальотом та м'якоті. Lourimaї та ін., 2017 згідно отриманих результатів досліджень визначено, що лохина *Vaccinium corymbosum L.* містить приблизно 120 мг воску/см<sup>2</sup>, це трохи менше ніж 170 мкг/см<sup>2</sup> спорідненої *Vaccinium elliotti Chapm.* (Albrigo et al., 1980) [2]. Також автори запропонували класифікувати лохину як «воскову» відповідно до класифікації воску Лонга Ештона Холловея та Джефрі (2005) [2].

В свіжих ягодах всі ці вищезазначені різномірні частини (гетерогенна система) знаходяться в стані рівноваги та володіють приблизно однаковим потенціалом масопереносу. Система, створена природнім шляхом, є стійкою за певної температури та вологості оточуючого середовища [1].

В процесі сушіння рівновага порушується. В такому випадку механізм переносу вологи буде залежати від властивостей кожного елементу системи окремо. Загальний напрямок руху вологи в процесі сушіння від центру ягоди через шар м'якоті та шкірки в оточуюче середовище. Отже, переміщення вологи та подальший її вихід з ягоди залежить як від параметрів оточуючого середовища (від параметрів сушильного агенту), так і від властивостей м'якоті та шкірки. Перехід вологи від одного середовища до іншого залежить від градієнту потенціалу переносу і відбувається від середовища з більшим потенціалом до середовища з меншим потенціалом [3].

Під час сушіння умови рівноваги порушуються, змінюється температура і вологість оточуючого середовища, а також градієнт вологовмісту на межі м'якоть – шкірка, в сумі це призводить до переносу вологи зсередини ягоди до поверхні та її випаровуванню в оточуюче середовище [4].

З фізіологічної точки зору шкірка з восковим нальотом – захисне покриття, котре захищає ягоду від висихання в природніх умовах. Але це й негативний фактор для реалізації процесу сушіння [1]. Тому ягоди лохини

потребують правильної технологічної попередньої підготовки перед реалізацією основного процесу сушіння.

Варто зазначити, що основна особливість ягід лохини – високий вміст води, у середньому 81 – 87% [5]. Вода є безпосереднім учасником біохімічних реакцій у живих клітинах [6]. Але до складу входить не чиста вода, а клітинний сік – вода з розчиненими в ній біологічно активними речовинами, такими як: вуглеводи, азотисті речовини, вітаміни, мінеральні солі та ароматичні речовини. Вода клітинного соку становить основну частину загального вмісту вологи плодів та ягід. Вона німічно пов'язана із тканинами рослин і легко випаровується під час сушіння. Невелика частина води (10...15% загальної кількості) більш міцно втримується рослинними колоїдами та видаляється з більшими енергетичними витратами [6].

Отже, як об'єкт сушіння ягоди лохини мають такі особливості:

- щільний восковий наліт на шкірці (120 мг воску/см<sup>2</sup>) [2];
- високий вміст води, близько 81-87% [5];
- шкірка це мембрана з поганими волого- та паропроникністю, що потребує з метою інтенсифікації сушіння розробляти методи попередньої підготовки ягід, які спрямовані на зміну цих властивостей [1];
- наявність у хімічному складі підвищеного вмісту цукрів, як наслідок з видаленням вологи під час сушіння концентрація останнього в клітинному соці підвищується та сповільнює подальше зневоднення ягід лохини, що також може призвести до зростання енерговитрат.

Вище-перелічений комплекс проблем потребує розроблення методів попередньої підготовки лохини до сушіння, а також вибору раціональних способів зневоднення ягід. Правильна попередня підготовка сировини та оптимальний спосіб сушіння можуть у комплексі вплинути на зменшення енергетичних витрат.

**Перелік посилань:**



1. Силич А.А., Зозулевич Б.В., Поповский В.Г. Сушка плодов и винограда в туннельных сушилках. – М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1982. –80 с.
2. Loypimai P., Paewboonsom S., Damerow L., Blanke M.M. «The wax bloom on blueberry: Application of luster sensor technology to assess glossiness and the effect of polishing as a fruit quality parameter» *Journal of Applied Botany and Food Quality* 90, 154-158 (2017), DOI:10.5073/JABFQ.2017.090.019
3. Петрова, Ж. О., Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні теплотехнології переробки функціональної сировини. — Київ : Наук. думка, 2018. — 192 с.
4. Петрова Ж.О., Слободянюк К.С., Граков О.П. Теоретичний аналіз сучасного стану переробки ягід лохини відомими методами сушіння. Наукові праці НУХТ 2022. Том 28, №3. С.123-143. DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-13.
5. Слободянюк К.С., Граков О.П. Визначення масової частки вологи плодів лохини методом висушування до постійної маси. Збірник тез доповідей ХХІХ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів» 06 - 08 грудня 2021 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. С. 8 -10.
6. Погожих М.І., Пак А.О. Енергоефективні способи переробки харчової сировини: сушіння плодово-ягідної сировини. *Навчальний посібник*. Харків: ХДУХТ, 2015. - 159 с.

UDK 621.577

### **HEAT PUMP UNITS IN DRYING EQUIPMENT**

Slobodianiuk K, PhD, Senior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Abstract.** The work is devoted to highlighting the relevance of the use of heat pumps in convective drying equipment.

**Keywords:** HEAT PUMPS, DRYING, ENERGY, ENERGY RESOURCES, ENERGY CONSUMPTION.

### **ТЕПЛОНАСОСНІ УСТАНОВКИ В СУШИЛЬНОМУ УСТАТКУВАННІ**

Слободянюк К.С., к.т.н., с.н.с.

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Анотація.** Робота присвячена висвітленню питання актуальності застосування теплових насосів у конвективному сушильному устаткуванні.

**Ключові слова:** ТЕПЛОВІ НАСОСИ, СУШІННЯ, ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ.

Today's global changes are accompanied by such negative phenomena as thermal pollution of the atmosphere, disruption of the Earth's ozone layer and a sharp reduction in energy resources.

A renewable source of energy, which already today in some countries and regions provides a significant contribution to industry, is the thermal energy of the environment (water, soil, air), which, with the help of heat pump units (HPU), converts the energy of low-potential sources into usable energy. The economic expediency of using HPU is confirmed by world experience. Already today in developed countries HPU are widely used for heating and air conditioning systems (USA, Canada, Sweden, Switzerland, Germany, Austria, etc.), industrial

production of TNU has been established on a fairly large scale (the USA - 1 million TNU every year, in Japan - 3 million) [1; 2; 3].

Heat pump installations, performing a reverse thermodynamic cycle on low-boiling working raw materials, draw renewable low-potential heat energy from the environment, increase its potential to the level necessary for heat supply, spending 1.2-2.3 times less primary energy than with direct fuel combustion [3].

A typical design of a compression heat pump includes four main components: a compressor, a condenser, an evaporator, and a throttle valve. These elements form a closed-loop circuit for a process fluid, such as Freon, which is vaporized in the evaporator, then compressed in the compressor and condensed in the condenser. Thus, bringing heat to the evaporator at a low temperature level and spending external energy in the compressor, we receive heat in the condenser at a higher temperature level than we had in the evaporator and in an amount equal to the total energy consumption of the electric motor and the low-temperature energy source [4].

Heat pumps are widely used in drying processes (when storing grain and vegetable raw materials). Convective drying is one of the most energy-intensive industrial technological processes [5]. Dehydration processes in the food and fruit processing industry consume up to 30% of total energy consumption. Traditional convective drying units, along with the undeniable advantages expressed in the simplicity of design and operation, have a number of significant disadvantages, the main ones of which are the low intensity of the process, significant heat loss with the exit of air (exit from the dryer chamber), the dependence of the efficiency of the dryer on the moisture content atmospheric air, as well as insufficient protection of products from possible damage by microorganisms in the environment. Energy costs for moisture removal during convective drying, taking into account heat losses with spent coolant and waste dried material, reach 6000 kJ/kg [3]. Therefore, solving the problems of reducing the use of traditional energy resources

and intensification of heat and mass exchange during dehydration is an urgent scientific and technical task.

**References:**

1. Sniezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Teplomasoobminni tekhnolohii ta obladnannia otrymannia nasinnievkykh materialiv: Monohrafiia. – Vinnytsia: «Tvory», 2020. – 153 c.
2. Paziuk V.M. «Teplotekhnichni osnovy sushinnia nasinnievoho zerna», dys. dokt.tekhn.nauk, ITTF NAN Ukrainy, Kyiv, 2019.
3. Sniezhkin Yu. F., Chalaiev D.M., Shavryn V.S., Dabizha N.O. Teplovi nasosy v systemakh teplokhodopostachannia. Kyiv: «Polihraf-Servis», 2009. – 104c.
4. Sniezhkin Yu.F., Chalaiev D.M., Shavrin V.S., Shapar R.O., Khavin O.O., Dabizha N.O. Vykorystannia teplovykh nasosiv u protsesakh sushinnia. Prom. teplotekhnika, 2006, t. 28, № 2. С. 106-110.
5. Sniezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Samoilenko K.M., Slobodianiuk K.S. Teplomasoobminni protsesy otrymannia kombinovanykh funktsionalnykh poroshkiv. – Kyiv: «Tropea», 2022. – 148 c.

УДК 637.142.2

## DRYING OF BISCHOFITE

Ph.D., professor Marchevskii V I hope next week I'll get approve from the landlord and then Ill start buying stuff. iktor, Student Zuiev Olexander

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

**Abstract.** The nature and methods of bischofite extraction are considered. The special properties of bischofite are noted. The first dryer for drying bischofite in Ukraine was developed at our department.

**Key words:** BISCHOFITE, DRYER, APPARATUS, FLUIDIZED BED, DEVELOPMENT.

## СУШІННЯ БІШОФІТУ

к.т.н., професор Марчевський В.М. Студент Зуєв О.О.

**Національний технічний університет України  
«Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського»**

**Анотація.** Розглянуті природа і методи добування бішофіту. Відмічені особливі властивості бішофіту. Першу сушарку для сушіння бішофіту в Україні розроблено на нашій кафедрі.

**Ключові слова:** БІШОФІТ, СУШАРКА, АПАРАТ, ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР, РОЗРОБЛЕННЯ.

Бішофіт – природний мінерал з високим вмістом магнію. В Україні бішофіт добувають в Ніжині і Полтаві, де на глибині 2200 метрів пролягає шар природного бішофіту товщина якого 40-45 метрів. В шар бішофіту подають воду, в якій розчиняється бішофіт. Отриманий розчин із вмістом бішофіту 35-37% реалізується Полтавським виробництвом. На Ніжинському виробництві отриманий розчин фільтрують. Очищений розчин упарюють.

Перенасичений розчин передається в кристалізатор, де у зустрічному потоці з перенасиченого розчину утворюються центри кристалізації і ростуть кристали діаметром 0.2-0.9 мм. Відсепаровані в кристалізаторі крупні кристали з розчином передаються в центрифугу де зневоднюються до вологості 7-10%. Відфуговані кристали подаються стрічковим транспортером в сушарку, де висушуються в псевдорозрідженному шарі до кінцевої вологості менше 1%.

Необхідно відмітити, що бішофіт викликає інтенсивну корозію металів, тому випарна установка та кристалізатор зроблені з чистого титану, який дуже дорогий, це десятки мільйонів гривень.

До приведених властивостей бішофіта можна віднести гігроскопічність. Він інтенсивно сорбує воду з повітря, перетворюючись в розчин. Цю властивість використовують на гірничо-збагачувальних комбінатах для уловлювання пилу. Вільні поверхні змочують розчином бішофіту і вони не сохнуть, а до вологої поверхні налипає пил.

Щоб захистити висушений бішофіт від зволоження його пакують в герметичні мішки – біг-беги місткістю 3 тони.

Бішофіт використовують в Ізраїлі в широких масштабах для виробництва магнезії. Бішофіт добувають із води Мертвого моря. Кажуть, що купання в Мертвому морі продовжує життя на п'ять років.

В нашій країні бішофіт використовують для лікування суглобів та загального оздоровлення. Для цього приймають бішофітові ванни.

За проектування сушарок бішофіту треба знати що:

бішофіт комкується, але комки не міцні, вони руйнуються шнековим дозатором при фасуванні;

елементи конструкції сушарки, що контактують з бішофітом необхідно виготовлювати з високолегірованої сталі;

бішофіт термолабільний матеріал, що необхідно враховувати, вибираючи температурні режими сушіння.

Використана література

1. Марчевський В.М. Дегідротація кристалічного бішофіту. Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження// Марчевський В.М., Улітько Р.М., Галстьян А.С., №1(9), 2012. С.34-36.

УДК 637.147.2

### DEVELOPMENT OF DRYER FOR CASEIN

Ph.D., professor Marchevskiy V., master student Glibovets S.,  
master student Shashkov V.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***Abstract.** The unit VS-300KPI, which is in serial production, was chosen as an analogue. The advantages of the dryer that were identified in the design process, the implementation of which is the purpose of the work, are considered. The options for improving the design of cyclone elements are also proposed.*

**Ключові слова:** DRYER, IMPROVEMENT, DRYING, FLOWING LAYER, CASEIN.

### РОЗРОБЛЕННЯ СУШАРКИ ДЛЯ КАЗЕІНУ

к.т.н., професор Марчевський В.М., магістрантка Глибовець С.В., Магістрант  
Шашков В.О.

**Національний Технічний Університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

***Анотація.** В якості аналогу обрано агрегат ВС-300КПІ, що знаходиться в серійному виробництві. Розглянуто переваги сушарки, що були виявлені в процесі проектування, впровадження яких є метою роботи. Також запропоновано варіанти вдосконалення конструкції елементів циклона.*

**Ключові слова:** СУШАРКА, ВДОСКОНАЛЕННЯ, СУШІННЯ, ФОНТАНУЮЧИЙ ШАР, КАЗЕІН.

Casein as a protein product is widely used in the food industry as a protein supplement. It is obtained from cow's milk and is also used in many industries. Technical casein has a number of advantages over other thermolabile substances. It is used as a waterproof substance for the production of various technical mixtures,



for example, for gluing paper, it provides adhesion to materials. The quality of the drying process directly affects the further quality of the finished product, or rather the appearance, solubility and shelf life of the finished product. The drying mode is selected based on the chemical properties of the material, trying to preserve the physical and biological parameters as much as possible. The process of casein production is based on the use of VS-300KPI unit. Drying with the help of this unit takes place in the flowing layer, which ensures the absence of overheating of the material due to prolonged exposure to heat on the inner layers of the compacted surface layer. During the design, some possibilities were identified, namely cleaning the inner surface of the cyclone, for this purpose an easy-to-open cover was installed at the end of the cyclone. In the production of food casein, the inner surface of the cyclone is sterilized before operation.

At present, the design documentation is being developed, which takes into account all the disadvantages and advantages of the design of the new dryer for the modernization of the VS-300M unit[1]. Particular attention should be paid to the development and implementation of thermal insulation of the dryer body, a new design of the cyclone, switchgear.

Thus, the results of the development increase the thermal insulation of the process, changing the efficiency and ensuring the conscious use of energy resources, which is very important in the current conditions of human existence. Also, the use of the method of drying in the fluidized bed prevents overheating of casein, which provides the appearance, degree of solubility and shelf life that fully meet the technical requirements of production [2].

**References:**

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б Сушка во взвешенном состоянии. – Изд. – 3-е, переработанное и доп. – Л.; Химия, 1979, - 272 с., ил.
2. Глибовець С.В., Шашков В.М., Марчевський В.М. UNIT VS-300KPI FOR DRYING CASEIN AND SIMILAR THERMOLABILE

PRODUCTS// Збірник тез доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ"  
/Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2021. – 186 с

УДК 637.142.2

### **Сушарка для бішофіту**

К.т.н., професор Марчевський В.М. студент Квецко А.Л.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація:** розглянуто бішофіт як об'єкт сушіння, встановлено його термолабільність, схильність до комкування та гігроскопічність.

**Ключні слова:** Бішофіт, сушіння, кристали, шар, псевдозріджений.

**Анотація:** bischophyte as an object of drying was considered, its thermolability, tendency to coking and hygroscopicity were established.

**Ключні слова:** bischofite, drying, crystal, layer, pseudo-liquefied.

Кристали бішофіту білого кольору, містять поверхневу і хімічно зв'язану воду. За температури вищої 180°C бішофіт розпадається на Mg і HCl. Іони хлору викликають інтенсивну корозію чорних металів, особливо металоконструкцій. Кристали бішофіту мають округлу форму і легко утворюють псевдозріджений шар. Але центрифуги радянського зразка не забезпечують стабільну вологість відфугованого бішофіту. Десь протікає розчин, він накопичується в барабані центрифуги, надмірно зволожує кристали, створюється комок, який транспортером подається в сушарку. Потрапивши в псевдорозріджений шар, комки розбиваються на менші кусочки, які перетворюються в окатиші. Висушений бішофіт разом з окатишками подається стрічковим транспортером в бункер, звідки фасується в герметичні біг-беги місткістю три тонни. За фасування шнековим дозатором окатиші руйнуються до окремих кристалів. Утворення окатишів і руйнування кристалів бішофіту унеможливають застосування пневмотранспорту. Проблему утворення окатишів необхідно вирішувати в центрифугі і в сушарці. Наступною проблемою є викиди тонкодисперсного

бішофітового пилу. Разом з відпрацьованим теплом в навколишнє середовище викидається біля 0.5% маси висушеного бішофіту. В зоні осідання бішофітного пилу буде інтенсивна корозія металоконструкцій, усихання дерев.

Аналіз методів очищення показує, що в зв'язку з інтенсивною адсорбцією води бішофітом, неможна використати електрофільтри і рукавні фільтри. Але, очевидно, можна використати очищення відпрацьованого теплоносія, краплями води. Вода розпилюється, створюючи поверхню контакту більшу поверхні частинок бішофіту. Частинки бішофіту контактуючи з поверхнею крапель води утримуються силами поверхневого натягу води і розчиняються. Утворений розчин направляється на випарку, а в систему циркуляції добавляється вода в необхідній кількості для підтримання постійної концентрації бішофіта.

Висновки: в процесі проектування необхідно вирішити дві проблеми: усунути комкування і забезпечити очищення відпрацьованого теплоносія,сушарки.

#### Використана література

1. Марчевський В.М. Дегідротація кристалічного бішофіту. Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження // Марчевський В.М., Улітько Р.М., Галстьян А.С., №1(9), 2012. С.34-36.

УДК 676.14+676.026

## ІНОВАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ-ОСНОВИ ДЛЯ ХАРЧОВОГО ПЕРГАМЕНТУ

магістр Серьогін В. С., аспірант Гондовська А. С., к. т. н., доцент Трембус І.  
В.

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

*Анотація.* Запропоновано іноваційні рішення в технології виробництва паперу-основи для харчового пергаменту. Застосування сучасних технологій одержання волокнистих напівфабрикатів із відходів сільського господарства та більш сучасного обладнання призведе до зниження собівартості кінцевого продукту та стабільності його якості.

**Ключові слова:** ХАРЧОВИЙ ПЕРГАМЕНТ, ПАПЕР-ОСНОВА, СОЛОМ'ЯНА ЦЕЛЮЛОЗА, МЛИН SECOMY, ПРЕС NIPCOFLEX

Одним з основних напрямків яким сьогодні рухається целюлозно-паперова галузь є виробництво нових видів паперової продукції та постійне вдосконалення технологічних процесів виробництва разом зі скороченням витрат на сировинну базу.

Харчовий рослинний пергамент застосовують для пакування харчових продуктів, продукції медичного призначення та іншої, яка потребує водонепроникного та жиронепроникного пакування, а також для технічних цілей.

Для виробництва рослинного пергаменту використовують паперову основу. Але для отримання якісного пергаменту, потрібно правильно

підібрати папір-основу, який відповідно до нормативних документів має певні вимоги до показників якості. Нормативними документами передбачено для виробництва даного виду паперу, використовувати сульфатну вибілену хвойну целюлозу. Така сировина має високу білість та показники міцності, але має і високу вартість.

Папір-основа для рослинного пергаменту виготовляється непроклеєним, без наповнювача, з підвищеною вологовбирністю та нормованими фізико-механічними характеристиками. Особливістю підготовки волокнистої маси для даного паперу-основи є високий ступінь млива  $75 \pm 4$  °ШР.

На даний момент виготовлення паперу-основи для рослинного пергаменту є доволі дорогим і ресурсоємним процесом, що потребує дороговартісної імпоротної сировини, так і великої затрати енергетичних ресурсів, у зв'язку з використанням застарілого технологічного обладнання.

З метою здешевлення кінцевої продукції на заміну більш дорогої сульфатної хвойної вибіленої целюлози марки ХБ-2 пропонується використовувати більш дешевшу, екологічно безпечну органосольвентну солом'яну целюлозу. Підготовку (розмелювання) хвойної і солом'яної целюлози рекомендується проводити двома різними потоками, що дозволить якісно підготувати волокнисту композицію і покращити властивості кінцевої продукції, так як волокна запропонованих целюлоз мають різну довжину.

До інновацій в технології виробництва паперу-основи для харчового пергаменту пропонується внести наступні особливості:

- використання для розмелювання волокнистих напівфабрикатів новітніх млинів типу SecoMu фірми NETZSH, для досягнення високого ступеня млива; дана конструкція дозволить отримати добре розволокнену масу, знизити витрати електроенергії, спростити обслуговування за рахунок

покращеної системи заміни ножів і зменшити експлуатаційні витрати за рахунок більш простої конструкції [1];

- встановлення пресової частини з використанням башмачного пресу типу NircoFlex фірми VOITN (рис. 1), що дозволить зменшити розміри пресової частини і знизити витрати електроенергії приблизно на 14 %.



Рисунок 1 – Башмачний прес типу NircoFlex фірми VOITN [3]

Пресування в такого типу пресах відбувається між двома сукнами для кращого зневоднення, відсутнє маркування полотна, сухість полотна перед сушильною частиною становить 52-57 %, Конструкція пресу дозволяє видалити велику кількість води за досить низького тиску пресування. Це виключає можливість роздавлювання вологого полотна, забезпечує високу гладкість за високих швидкостей папероробної машини [2].

Запропоновано заходи підвищення ефективності технологічного потоку з виробництва паперу-основи для харчового пергаменту дозволять в значній мірі покращити якість кінцевого продукту.

**Перелік посилань:**

1. Ножевая мельница тонкого измельчения NETZSCH тип SECOMY Высокоэффективное измельчение. [Електроний ресурс] – NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH – [https://grinding.netzsch.com/\\_Resources/Persistent/a/8/e/6/a8e6d95da31024a64f39d7a09869729e90300e61/NETZSCH\\_Fine\\_Cutting\\_Mill\\_SecoMy\\_ru.pdf](https://grinding.netzsch.com/_Resources/Persistent/a/8/e/6/a8e6d95da31024a64f39d7a09869729e90300e61/NETZSCH_Fine_Cutting_Mill_SecoMy_ru.pdf)

2. NipcoFlex. The next generation of paper dewatering. [Електроний ресурс] – Voith GmbH & Co – <https://d2euiryrvxi8z1.cloudfront.net/asset/445934742530/823f34a62729181a81f2089dc5368392/vpz1238-english.pdf>



УДК 66.047

**DRUM DRYER AS A MODERNIZATION IN THE  
TECHNOLOGICAL SCHEME OF COKE PRODUCTION FACILITY**

Student Dmytro Solomianiuk., Head Associate Professor, Ph.D. Andriy  
Stepaniuk

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

**ANNOTATION:** *The production of coke and the desiccation process using a drum dryer are considered. The technological scheme is also presented.*

**KEY WORDS:** *COKE, DESICCATION, DRUM DRYER.*

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

студент Солом'янюк Д.О., доцент, к.т.н. Степанюк А.Р

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

**АНОТАЦІЯ:** *Описано процес виробництва коксу, наведено технологічну схему виробництва коксу.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *КОКС, СУШІННЯ, БАРАБАННА СУШАРКА.*

Considering that the energy policy is currently conducted everywhere, one of the priority tasks of any state is to increase the efficiency of the use of fuel and energy resources and create the necessary conditions for transferring the country's economy to an energy-saving path of development. Any country's economic development level is established not by the amount of extracted or consumed fuel and energy resources but by the efficiency of their use [1].

Because of the demand for crude oil with lighter production fractions such as naphtha, gasoline, kerosene, and diesel, refineries have begun refining heavier crude to meet market demand for light and medium products. Over the past few years, global production of petroleum coke has been gradually increasing due to increased supplies of heavy oils. Petroleum coke is a valuable and vital commercial product that is directly used in a wide range of applications, including the production of aluminum and many other products, including steel, glass, paint, and fertilizer. Due to the shortage of anthracite and the rapid increase in its value on the world market, in developing countries, petroleum coke is also often used as a fuel in power generation, cement kilns, and other industries [1].

Petroleum coke is a solid residue of the secondary processing of oil or petroleum products obtained by the slow coking of heavy oil residues. The primary purpose of the delayed coking process is the maximum production of distillates for the further production of motor fuels from them. The petroleum coke obtained in this process is a by-product, determining its low cost.

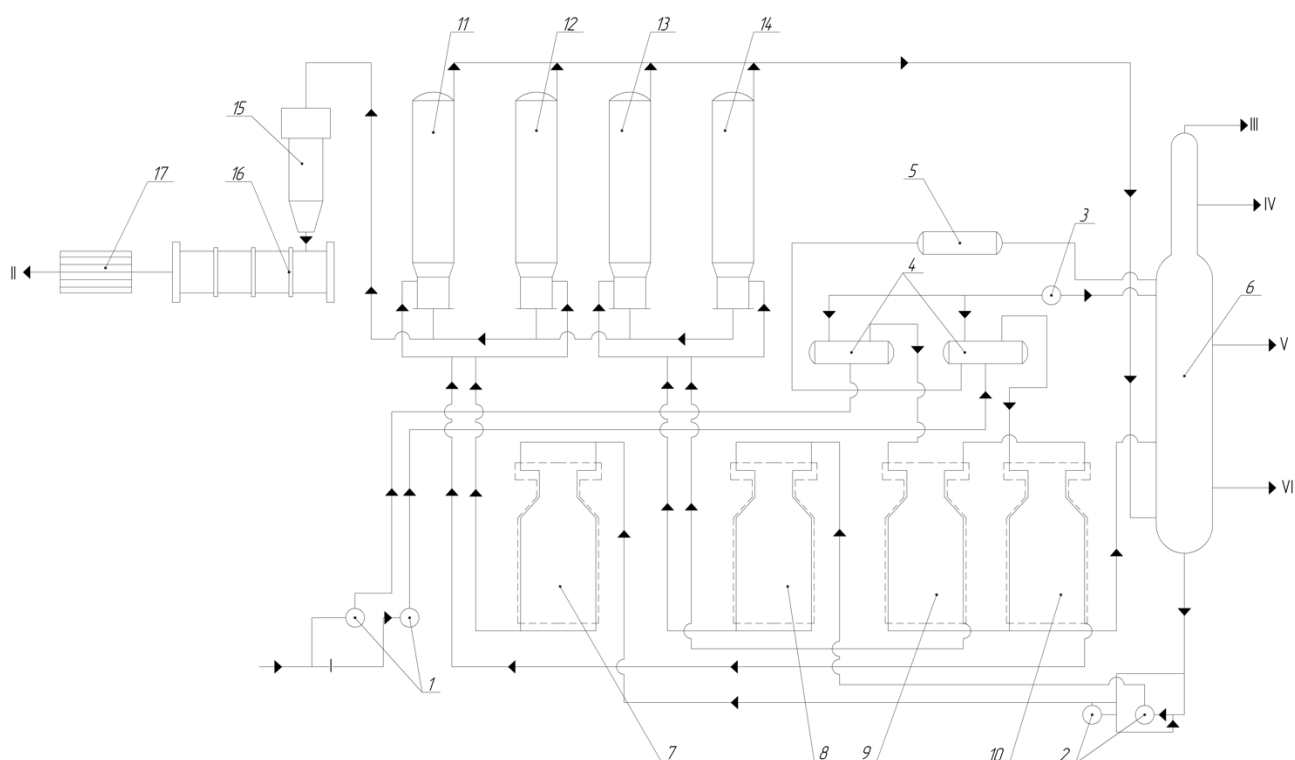
The work describes the scheme of coke production. The technological scheme of coking is shown in Figure 1 [2].

Coking raw materials are pumped by centrifugal pumps 1 in two parallel streams sequentially through heat exchangers 4 and coils of furnaces 9,10 and from there enter the rectification column 6 on cascade plates. In contact with steam and gases entering column 6 from chambers with a temperature of 425 °C, the raw material is heated to 400 °C

Condensed high-boiling coking products (recyclate) mixed with raw materials form the raw materials of coke chambers (secondary raw materials). From the bottom of the column, secondary raw materials are sent to receive furnace pumps 2. Each of these pumps moves raw materials through coils of tubular furnaces 7,8, where it is heated to 510 °C and then enters the corresponding chambers 11,12,13,14, which work in pairs. Before unloading the coke, the chambers are

first cooled to 400 °C, and the water vapor is sent back to the rectification column 6. After that, the coke is further cooled with water.

After that, coke is cooled with water and, thanks to particular devices, it is removed from coke ovens 11,12,13,14 and sent to cyclone 15 to remove moisture from the material for further drying. After that, the coke is sent to the drum dryer 16, where the drying occurs. Warm air is generated in heaters 17. After final processing, the finished material is prepared for transportation.



1,2,3 – pumps, 4 – heat exchangers, 5 – air cooling condensers, 6 – rectification column, 7, 8, 9, 10 – furnaces, 11,12,13,14 – coke chambers, 15 – cyclone, 16 – drum dryer, 17 – heater.

I – raw material, II – coke, III – gas, IV – gasoline, V – jet fuel, VI – diesel fuel

Figure 1 – Technological diagram of a modernized coke production facility

The purpose of the work is to modernize the installation by developing a drum dryer for drying coke.

The drum dryer is a welded cylinder (drum) on the outer surface of which bandage supports, stiffness rings, and a drive-toothed crown are fixed. The axis of the drum can be inclined to the horizon at an angle of up to  $4^\circ$  [3].

The advantages of the design of the drum dryer are its versatility, ease of maintenance, and high productivity. An essential feature of drum dryers is the ability to automate all processes from start-up to temperature control. One of the disadvantages of the device is its bulky dimensions, which add complexity to the installation's expensive operation. [3].

#### **References:**

1. Aldo Ramos Santos, Rogério José da Silva, Maria Luiza Grillo Renó Analysis of Petroleum Coke Consumption in Some Industrial Sector – Journal of Petroleum Science Research 4(1):1-7, 2015
2. Lastovkin G. A., Radchenko E. D., Rudin M. G. Reference book of oil refining. L.: Chemistry, 1986. 648 c
3. Sazhyn B. S. Fundamentals of drying technology. M.: Chemistry, 1984. — 320 c.

УДК 66.047

**MODERNIZATION OF THE AIR COOLER OF THE GAS  
FRACTIONATION UNIT**

student Turkevych Y.V., assistant Podiman H.S.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**ANNOTATION:** THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE GAS FRACTIONATION INSTALLATION IS CONSIDERED.

**KEY WORDS:** TECHNOLOGICAL SCHEME, GAS FRACTIONATION, AIR COOLER.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА УСТАНОВКИ  
ГАЗОФРАКЦІЮВАННЯ**

студент Туркевич Ю. В., ас. Подиман Г. С.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ:** Розглянуто технологічну схему установки газофракціювання.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ГАЗОФРАКЦІЮВАННЯ, ПОВІТРЯНИЙ ХОЛОДИЛЬНИК.

For the separation of hydrocarbon gases into individual or narrow technical fractions, such physical processes as condensation, compression, rectification, and absorption have become the most widespread at oil and gas refineries. The specific choice of the scheme (sequence) of separation, temperature, and pressure is determined by the composition of the initial gas mixture, purity requirements, and the given assortment of the commodity product [2].

For the clear separation of gaseous hydrocarbons, rectification or a combination of rectification with absorption is used, if there is a need to separate

gas in which there is a lot of "dry" part, mainly methane. In this case, it is advisable to first separate the "dry" part using absorption, followed by separating the remaining gas by rectification.

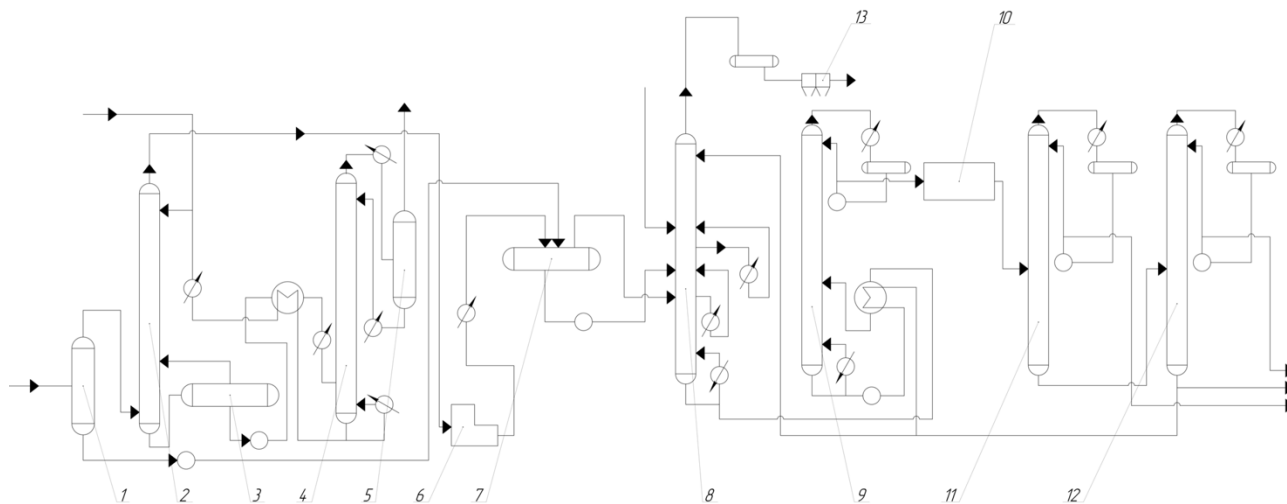
Gas fractionation is the process of separating hydrocarbon raw materials (unstable gas gasoline) to obtain individual light hydrocarbons or hydrocarbon fractions of high purity, which differ in boiling point. Gas fractionation processes have been used to obtain from oil refinery gases and gases from low-temperature processing plants individual low-molecular hydrocarbons C1-C6 (both limiting and non-limiting, normal or isostructure) or their fractions of high purity. A combination of condensation, compression, rectification, and absorption processes has found use at gas fractionation plants (HFU).

The products of gas fractionation plants, depending on the scale of production, the composition of the initial raw materials, the requirements for commercial gas, and the depth of processing, are the following narrow hydrocarbon fractions or components: methane-ethane (sometimes ethane), propane, butane, isobutane, pentane, isopentane, propane-propylene, butane-butylene, ethane-ethylene, pentane-amylene. It is also promising to obtain the hexane fraction or iso- and normal hexane. When using narrow fractions as raw materials for petrochemical syntheses, the content of the main components in them should be at least 96...98%. Fractions of hydrocarbon gases, which leave the installation as a final product, must meet the technical conditions according to the current standards.

The technological scheme of the gas fractionation installation is shown in Figure 1. [1]

The gas from the catalytic cracking unit is supplied to separator 1. The liquid fraction is collected in the collector of separator 7, the gaseous fraction is supplied to absorber 2. A mixture of mono ethanol amine (MEA) and alkali is supplied as irrigation of the absorber. The purified gases are compressed in

compressor 6, cooled, and then fed to the collector of separator 7. The mixture of MEA with alkali and sulfur compounds is fed to separator 3, the gaseous fraction is used as steam feed for column 2, and the liquid fraction is heated in the furnace and fed to rectification column 4. Purified MEA after cooling is supplied as the phlegm of absorber 2, and hydrogen sulfide is diverted to storage. The liquid fraction from the separator 7 and the gaseous fraction is fed to the fractionating absorber 8. From the upper part, dry gases are taken through the condenser and fed to the air cooler 13. Unstable gasoline is taken from the middle part of the column, and gases mixed with gasoline are removed from the lower part. Stable gasoline is supplied to the upper part as irrigation. A mixture of gasoline and gases is fed to the stabilizer 9. From the lower part of the stabilizer 9, stable gasoline is taken, which is partly fed to the warehouse, and partly to the irrigation of column 8. From the upper part of column 9, the mixture of gases is fed to propane column 11, from the top of which the propane-propylene is taken fraction. The cubic residues of column 11 are fed to butane column 12, where the butane-butylene fraction is selected from the top and stable gasoline from the bottom.



1,3,5,7 – separators; 2 – absorber; 4 – a column for cleaning mea from hydrogen sulfide; 6 – compressor; 8 – fractionating absorber; 9 – stabilizer; 10 – cleaning unit; 11 – propane column; 12 – butane column; 13 – air cooler;

Figure 1 – Technological scheme of the gas fractionation installation

The air cooler is not the main device of the technological scheme shown in Figure 1, but it is an integral part of the gas fractionation installation. It is in it that the process of condensation and cooling of unstable gasoline takes place. Therefore, it is necessary to choose the most productive device.

### **References**

1. Synopsis of lectures of the discipline "Processes and equipment of oil refineries" -: Chemistry. - 2014 - 80 p.
2. Kasatkin A.H. Basic processes and devices of chemical technology. - M.: Chemistry. - 1971 - 784 c.



УДК 631.8

**Дослідження впливу кінетика процесу випаровування нанесених на пористому субстраті на**

аспірант Гоцький Я. Г., к. т. н. доц. Степанюк А. Р., д. т. н. проф.  
Іваницький Г.К.

**Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

**ABSTRACT.**

**KEY WORDS:** *evaporation, ammonium sulfate, crystallization, mathematical model*

**АНОТАЦІЯ.**

*Наведено кінетичні закономірності процесу зневоднення розчину сульфату амонію на пористому субстраті. Встановлено вплив кінетики зневоднення на кристалізацію твердого шару на поверхні субстрату при співвідношеннях мас нанесеного розчину та субстрату від 10 до 20 %.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *випаровування, сульфат амонію, кристалізація, математична модель*

Утворення гранульованих матеріалів з пошаровою структурою найбільш доцільним з огляду енергоефективності за рахунок реалізації пошарового механізму грануляції у апараті псевдозрідженого шару [1, 2].

Отримання гранул з задовільними фізико-механічними властивостями та морфологією є важливою науково-технічним завданням.

Метою даного дослідження є визначення впливу кінетики процесу зневоднення багатокомпонентних рідких систем на поверхні у потоці гарячого повітря, а також вплив термодинамічних параметрів та складу гетерогенного розчину, який містить домішки гуматів, кістяного борошна та

карбаміду на морфологію отриманого кристалізованого твердого шару у одному циклі.

Установка прогрівалась до зданої температури оточуючого повітря, яка для більшості експериментів становить  $T_{\text{пов}} = 65 \pm 5$  °С та відносна вологість повітря  $RH = 19 \pm 2$  %. Досліджувані розчини з масовою часткою сульфату амонію від 27 до 40 % (мас.) з додаванням домішок гуматів, кістяного борошна та карбаміду з **початковою температурою розчину**  $T_{p0} = 15 - 20$  °С та початковим об'ємом  $V_p = 0,1 \pm 0,02$  мл наносився на попередньо просушений пористий субстрат, у момент досягнення субстратом температури всередині субстрату  $95 \pm 1$  °С на поверхню пористого субстрату і проводилось зчитування температури з зволоженої поверхні субстрату, маси субстрату, температури потоку повітря на вході, безпосередньо перед субстратом, оточуючого повітря на віддалі та на виході з установки. **Витрати гарячого теплоносія при дослідженні впливу конвективного теплообміну на процес зневоднення та кристалізації є однаковими для кожного експерименту.** Субстрат (досліджуваний зразок) являє собою куб з пемзи з наступними геометричними розмірами  $A \times B \times H$  від  $10 \times 10 \times 10$  мм до  $15 \times 15 \times 15$  мм матеріал пемза на основі кремнію.

Теплообмінні процеси мають суттєвий вплив на кінетику процесу випаровування. Теплота, що надходить чи відходить до об'єму нанесеної розчину, розміщеного на поверхні передається за рахунок теплопровідності, конвекції, та випромінювання. У випадку коли оточуюче середовище є не рухомим ( $w_g = 0$ ), теплообміном за рахунок конвекції можна знехтувати у загальному балансі теплоти, а масоперенос пари з рідкої фази в газоподібну здійснюється за рахунок молекулярної дифузії.

Кінетика процесу випаровування 40 % (мас. ) розчину сульфату амонію на пористому субстраті при співвідношеннях мас нанесеного розчину до маси субстрату  $m_{p0}/M_{sub}$  від **10** до **!!!20** % у потоці гарячого повітря температурою від **200** °С до **100** °С складається з трьох основних періодів: **прогріву, квазі-рівноважного випаровування** та **падаючої швидкості**

**сушіння.** Початок та кінець кожного періоду простежується на характері зміни маси та температури при зневодненні на отриманих графіках динаміки зміни маси та температури, наведених на рисунку **3.13, 3.14.**

У першому періоді випаровування у момент нанесення розчину з початковою температурою  $T_{p0}$  на поверхню, температурою всередині пористого субстрату  $T_{п0} = 95 \pm 1^\circ\text{C}$  відбувається падіння температури розчину внаслідок витрачання теплоти на нагрівання та випаровування об'єму розчину. Падіння температури наближається до певного мінімуму, величина якого залежить від початкової температури розчину, після чого відбувається швидкий нагрів температури розчину до певної величини, після якої величина швидкості зміни температури рідини поверхні субстрату  $dT_l/dt$  зменшується. Зменшення швидкості зміни температури  $dT_l/dt$  на термограмі вказує на початок другого періоду випаровування – періоду квазі-рівноважного випаровування. У другому періоді процес випаровування відбувається при певній сталій величині температури розчину/зволоженої поверхні субстрату, які можуть незначно зростати в залежності від складу розчину.

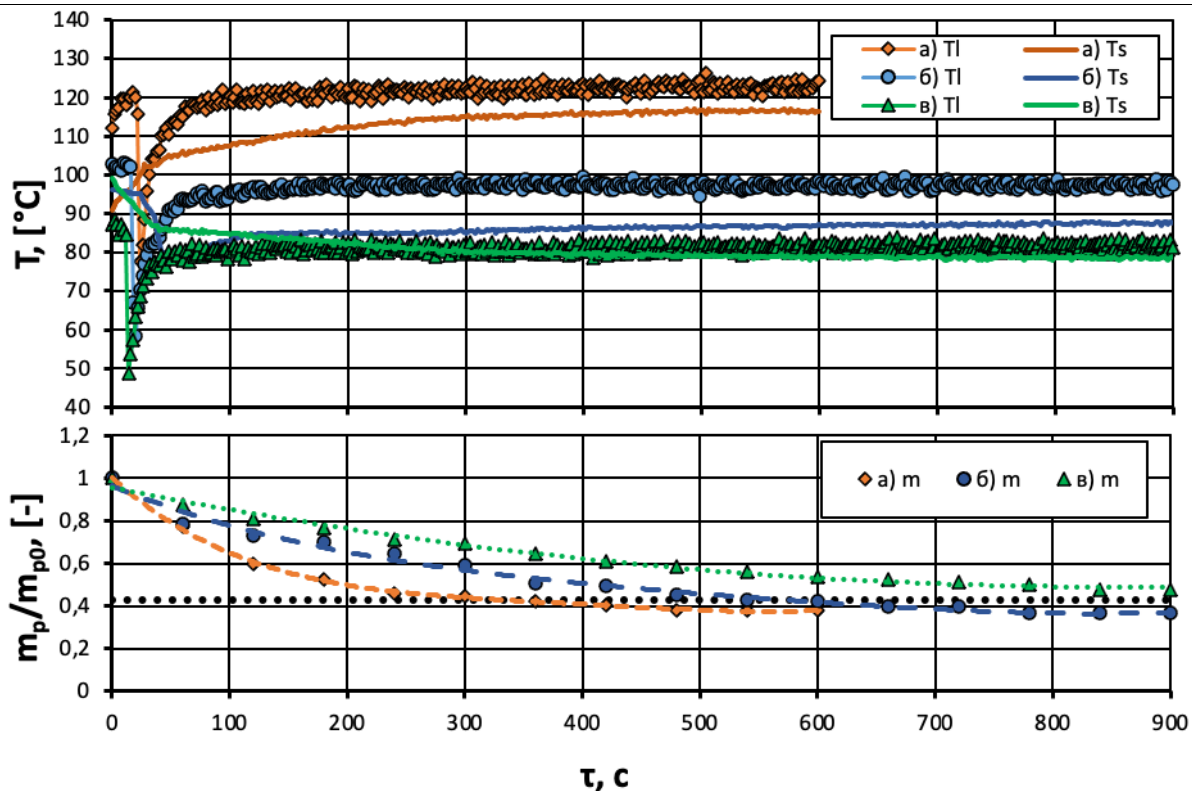
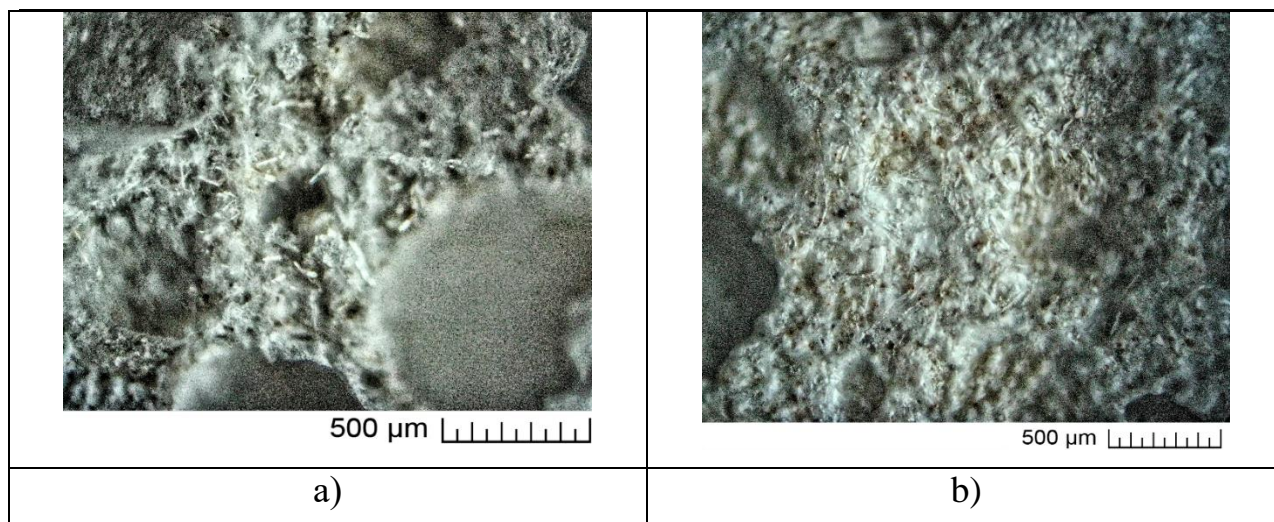


Рисунок 3. – Динаміка зміни температури та маси при зневодненні 40 % (мас.) розчину сульфату амонію на пористому субстраті (співвідношення мас нанесеного розчину та субстрату  $m_{\rho 0}/M_{sub} \leq 10\%$ )

Температура всередині субстрату знижується внаслідок сорбції розчину у пори та капіляри пористого середовища. Дане явище на термограмі процесу відображається поступовим зніенням температури всередині субстрату у момент нанесення розчину на поверхню і пдальшим зростанням температури у процесі зневоднення. Повністю висушений субстрат вважаються у момент досягнення певного сталого значення температури при  $dT_s/d\tau = 0$ , температура поверхні прямує до температури оточуючого середовища, (Рис. 1).

На рисунку 2 наведено отримані фотографії мікроструктури кристалітів сульфату амонію за різних температур потоку обтікаючого повітря.



a) – температура потоку гарячого повітря на вході  $T_g = 150$  °C;

b) – температура потоку гарячого повітря на вході  $T_g = 100$  °C;

Рисунок 3.18 – Структура кристалітів 40% (мас.) сульфату амонію при випаровуванні на нагрітій поверхні пористого субстрату (співвідношення мас  $m_{p0}/M_{sub} \leq 20$  %)

При зростанні температури потоку повітря відбувається зменшення розмірів окремих кристалів сульфату амонію у твердому монолітному шарі.

**Висновок.** двостороннє підведення теплоти як від конвективного теплопереносу від потоку гарячого повітря та теплопровідності від нагрітої поверхні разом з збільшеною поверхнею контакту за рахунок розвиненої пористої поверхні гранули дозволяє інтенсифікувати процеси тепломасопереносу при зневодненні багатокомпонентних рідких систем. Сорбція у пори дозволяє зменшити товщину плівки рідини на поверхні, що також інтенсифікує процеси зневоднення розчинів. Забезпечення рівномірного надходження заданої маси розчину на поверхню субстрату з співвідношенням мас розчину та субстрату (гранули) що не перевищують  $m_{p0}/M_{sub} \leq 10$  %, кінетика процесу загалом відповідає першій стадії сушки. В даному випадку тривалість випаровування буде достатньою для того, щоб розчинник повністю випарувався з поверхневих шарів пористого субстрату до моменту, коли розчин поглинається в глибші шари. В такому випадку

енергія йде тільки на випаровування розчинника з поверхні субстрату, а не на видалення вологи зв'язаної з капілярно пористим матеріалом.

**Перелік посилань:**

1. Гоцький Я. Г., Степанюк А. Р. (2020) Створення гранульованих композиційних матеріалів з багатошаровою структурою. / Енерготехнології та ресурсозбереження, № 3, с. 50 – 55. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.3.2020>

2. Гоцький Я.Г., Іваницький Г.К., Степанюк А.Р. (2021) Дослідження кінетики випаровування та кристалізації крапель розчину сульфату амонію, розміщеної на пласкій нагрітій поверхні / *Теплофізика та теплоенергетика*, № 4, (43), с. 51 – 61. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2021.6>

**УДК 664.8.047**

**Адсорбційні властивості колоїдних капілярно-пористих матеріалів біологічної природи**

к.т.н., ст. наук. співр. Самойленко К.М.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

*Анотація:* В роботі наведено результати досліджень рівноважної вологості колоїдних капілярно-пористих матеріалів біологічної природи на основі столового буряку.

*Ключові слова:* адсорбція, рівноважна вологість, сушіння, столовий буряк.

**UDC 664.8.047**

**Adsorption properties of colloidal capillary-porous materials of biological nature**

Senior Research Fellow, Ph.D. Kateryna Samoilenko

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine**

*Abstract:* The results of studies of equilibrium humidity of colloidal capillary-porous materials of biological nature on the basis of red beetroot are presented.

*Key words:* adsorption, equilibrium humidity, drying, red beetroot.

Адсорбція є одним із кінцевих етапів досліджень при розробці теплотехнології отримання харчових порошків [1, 2]. Рівноважна вологість є важливим показником, оскільки показує не лише кінцевий вологовміст при сушінні, а й від нього залежать енергетичні витрати на процес зневоднення, термін, умови зберігання та якісні характеристики продукту [3]. Для визначення рівноважної вологості антиоксидантних функціональних порошків залежно від відносної вологості повітря застосовувався

тензометричний (статичний) метод Ван Бамелена [4]. Суть методу полягає в тому, що зразки матеріалу з наперед визначеним вологовмістом витримують в ексикаторах над водними розчинами сірчаної кислоти. Відомій концентрації розчинів відповідає при даній температурі певний парціальний тиск пари, тобто відповідне значення відносного тиску. Більш детально у посиланнях [4, 5].

В результаті були одержані кінетичні криві адсорбції водяної пари антиоксидантних функціональних порошоків, які представлені на рис.1 та 2.

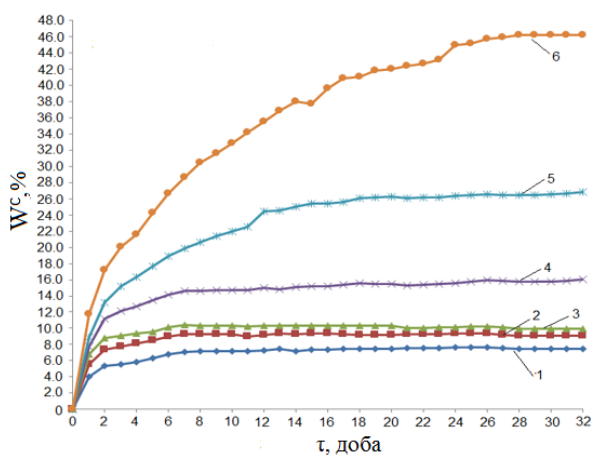


Рис. 1 – Кінетичні криві адсорбції водяної пари буряково-ревеневого порошку:

1 –  $\varphi = 0,4$ ; 2 –  $\varphi = 0,5$ ; 3 –  $\varphi = 0,6$ ; 4 –  $\varphi = 0,7$ ; 5 –  $\varphi = 0,8$ ; 6 –  $\varphi = 0,9$

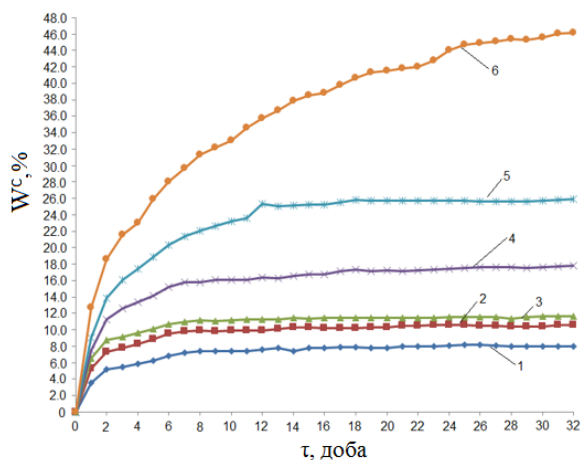


Рис. 2 – Кінетичні криві адсорбції водяної пари буряково-лимонного порошку:

1 –  $\varphi = 0,4$ ; 2 –  $\varphi = 0,5$ ; 3 –  $\varphi = 0,6$ ; 4 –  $\varphi = 0,7$ ; 5 –  $\varphi = 0,8$ ; 6 –  $\varphi = 0,9$

Для ревенево-бурякового при  $\varphi = 0,4 - 0,6$  рівноважний стан встановлюється на 10 – 14 добу, при  $\varphi = 0,7 - 0,8$  на 16 - 19 добу (рис. 1). Для буряково-лимонного порошку при  $\varphi = 0,4 - 0,6$  рівноважний стан встановлюється на 8 – 10 добу, при  $\varphi = 0,7 - 0,8$  на 18 - 19 добу (рис. 2) [5].

Порівнюючи результати рівноважної вологості буряково-ревеневого та буряково-лимонного порошку, виявлено, що їх кінетичні криві адсорбції водяної пари мають схожий характер. В межах досліджуваної вологи повітря,



вони повернені до випуклості  $W$ , що свідчить про полімолекулярність адсорбції. При значенні  $\varphi = 0,6$  рівноважна вологість  $\epsilon$  в межах 10-11 %.

При зберіганні композиційних порошків з метою збереження їхніх технологічних властивостей рекомендується підтримувати в приміщенні наступні умови: вологість повітря 60 – 70 % при температурі 20 – 25 °C та герметично їх запаковувати.

#### **Список використаних джерел:**

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов (1973). Москва: Пищевая промышленность, 528 с.
2. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии (1990) Под ред. Ю. С. Никитина, Р. С. Петровой. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М: Изд-во МГУ, 318 с. ISBN 5-211-00908-8.
3. Greg S., Sing K. (1984) Adsorption, specific surface, porosity. Mir, P. 310.
4. Дабіжа Н.О. (2013) Інтенсифікація процесу конвективного сушіння термолабільних матеріалів до низького залишкового вологовмісту: Дис. канд.техн.наук: 05.14.06 / Інститут технічної теплофізики НАН України – Київ, 199 с.
5. Petrova Zh., Samoilenko K.M. (2021) Adsorption Properties of Combined Vegetable Powders. Energy Engineering and Control Systems, 7, 1, 38 – 47.

УДК 676.2

## ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВТРАТ ВОЛОКНА У ВИРОБНИЦТВІ КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

магістрант Вилку Ю.О., аспірантка Якименко О.С., професор Барбаш В. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Досліджено процес використання хімічних допоміжних речовин для утримання волокна і зневоднення маси на картоноробній машині. Проведено порівняння ефективності флокулянтів і встановлено, що більшу швидкість зневоднення волокнистої маси і меншу кількість завислих речовин у фільтраті забезпечують флокулянти NeitroRet DR525, NeitroRet HB3522 і NeitroRet TG992. Досліджено вплив хімічних допоміжних речовин на показники картону для поверхневих шарів гофрокартону.

**Ключові слова:** хімічна допоміжна речовина, макулатура, картон для плоских шарів гофрокартону

The process of using chemical auxiliaries for fiber retention and mass dehydration on a cardboard machine was studied. The effectiveness of flocculants was compared and it was established that the flocculants NeitroRet DR525, NeitroRet HB3522 and NeitroRet TG992 provide a higher rate of dehydration of the fibrous mass and a lower amount of suspended substances in the filtrate. The effect of chemical auxiliaries on cardboard parameters for the surface layers of corrugated cardboard was studied.

**Keywords:** chemical auxiliary substance, waste paper, cardboard for flat layers of corrugated cardboard

Світова тенденція збільшення чисельності населення потребує збільшення обсягів споживання товарів широкого споживання, зокрема

випуску картонно-паперової продукції. Рівень споживання паперу і картону на душу населення є одним із індикаторів стану розвитку суспільства кожної держави. Середнє світове значення цього показника досягає 60 кг на людину, у країнах Західної Європи – 147 кг/особу, Північної Америки – 215 кг/особу, а в Україні за результатами 2020 року – лише 29 кг/особу, з яких тільки 21,7 кг – виробляється підприємствами вітчизняної целюлозно-паперової промисловості, а решта імпортується [1].

Для моделювання процесу зневоднення волокнистої маси на сітковому столі картоноробної машини (КДМ) у лабораторних умовах ПАТ «Жидачівський целюлозно - паперовий комбінат» проведено порівняння ефективності зневоднення макулатурної маси та утримання волокна на апараті Шоппер-Ріглера з використанням різних хімічних допоміжних речовин (ХДР). Для визначення швидкості зневоднення до 1 літра водного розчину макулатурної маси додавали різні ХДР з питомою витратою 2 кг/т і фіксували час, необхідний для фільтрування 200, 400 і 600 мл води через сітку апарату (табл. 1), та визначали кількість завислих речовин у фільтраті (рис. 1 і 2).

Таблиця 1. Залежність швидкості зневоднення макулатурної маси і концентрації завислих речовин (КЗР) з використанням ХДР.

№ з/п	Хімічні допоміжні речовини	Питома витрата ХДР, кг/т	Швидкості зневоднення макулатурної маси об'ємом, с			КЗР, г/л
			200 мл	400 мл	600 мл	
1	холоста проба	-	36	265	580	0,0443
2	NeitroRet 325 МК	2	11	62	150	0,0074
3	NeitroRet НВ3522	2	9	40	95	0,005

**Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

4	NeitroRet TG992	2	11	35	135	0,0014
5	NeitroRet KD4020	2	34	150	360	0,004
6	NeitroRet DR525	2	5	24	58	0,0047
7	NeitroRet FIC100	2	12	74	178	0,0108

З наведених даних видно, що більшу швидкість зневоднення волокнистої маси і меншу кількість завислих речовин у фільтраті забезпечують флокулянти

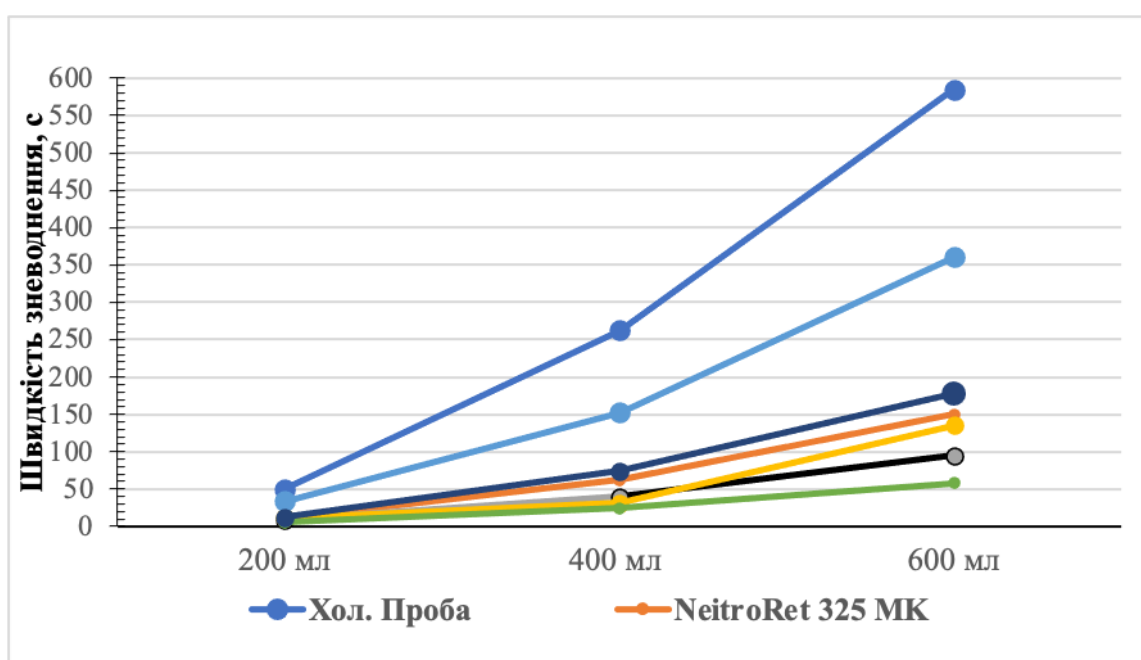


Рис. 1 – Залежність швидкості зневоднення макулатурної маси від об'єму фільтрату для різних ХДР

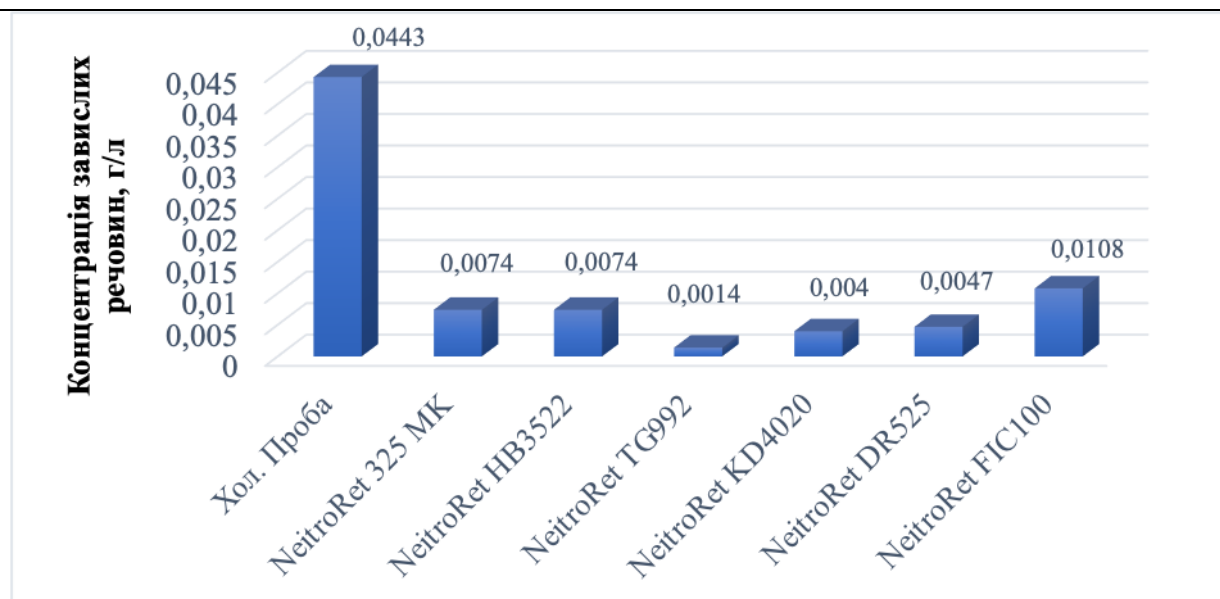


Рис. 2 - Залежність концентрації завислих речовин у фільтраті від виду ХДР

NeitroRet DR525, NeitroRet HB3522 і NeitroRet TG992, які рекомендуються з витратами 2 кг/т використовувати у виробництві картону для поверхневих шарів гофрокартону.

1. Барбаш В.А. Технології перероблення недеревної рослинної сировини у целюлозовмісну продукцію : монографія / В. А. Барбаш. Київ : Каравела, 2022. – 360 с. ISBN 978-996-96914-60

УДК 676.026

**Вдосконалення технології виробництва картону тарного вологостійкого**

магістрант Горяной В.А., к.т.н, доц. Дейкун І.М.

пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вироби з гофрокартону є найбільш розповсюдженим видом тари завдяки легкості, високим показникам міцності, пластичності, екологічності та економічності, адже папір та картон для виробництва гофрокартону можна отримувати з макулатури.

Для виробництва гофрокартону та різноманітних виробів у вигляді лотків, ящиків для пакування охолодженої та замороженої продукції використовують картон тарний макулатурний вологостійкий. Використання цього виду картону для виготовлення тари розширює сферу її застосування і дозволяє застосовувати вироби в умовах підвищеної вологості, зберігаючи при цьому продукцію та цілісність штабеля.

Картон, що використовується для плоских шарів гофрокартону, повинен мати високі показниками міцності - опіру продавлюванню та жорсткості, а також достатні значення вологоміцності.

З цією метою проводиться поверхневе проклеювання картону, яке покращує його якість: надає міцності та вологостійкості, знижує витрати проклеюючих речовин завдяки кращому утримувannya їх та знижує забруднення стічних вод, у порівнянні з проклеюванням в масі.

Для поверхневого проклеювання використовуються різні види крохмалю, натрієва сіль карбоксиметилцелюлози, казеїн, тваринний клей, полівініловий спирт, латекси.

Клеїльні преси зазвичай встановлюють у тій частині картоноробної машини, де сухість полотна досягає 85-94%.

У клеїльних пресах можна наносити покриття масою від 1 до 10 г/м<sup>2</sup>. Принцип роботи такого пресу полягає в тому, що полотно картону занурюється у ванну з клеєм.

Плівкові преси на сьогодні мають ряд суттєвих переваг перед клеїльними. Плівковий прес компактний, розміщується безпосередньо в машині за частиною попереднього сушіння і може наносити як одностороннє, так і двостороннє покриття. Прес виконаний як двовальний з похилою віссю валів та з гідравлічним або пневматичним притискним зусиллям, керованим механізмом важеля. Навантаження регулюється відповідно до технологічних вимог від 0 кН/м до максимальної притискної сили. Покривне середовище подається в дозувальну камеру, звідки передається в калібрувальну частину, де за допомогою профільованих стрижнів калібрується кількість нанесеного на картон покриття. Покривна дисперсія наноситься з допомогою соплового дозатора на поверхню пресового валу, рівномірно розподіляється на його поверхні, після чого наноситься на полотно, що дозволяє зменшити кількість клею у порівнянні зі звичайним клеїльним пресом. Пресові вали сконструйовані з урахуванням максимальної притискної сили та динамічно збалансовані з необхідною швидкістю. Несуча конструкція виготовляється з конструкційної або нержавіючої сталі.

У плівковому пресі маса 1 м<sup>2</sup> покриття, що наноситься, не перевищує 5 г, а вміст твердих речовин у рецептурах покривних складах для плівкового преса (при поверхневій обробці – близько 45 %), що вище, ніж рецептура для звичайного клеїльного преса (у середньому 15 %).

Отже, застосування плівкового пресу замість клеїльного суттєво знижує

обривність полотна через менше його зволоження та зберігає енергію, необхідну на сушіння до 10%, дає можливості для збільшення робочої швидкості картоноробної машини.

**Перелік джерел:**

1. Журнал «Гофроіндустрія» - <https://gofromagazine.com/>
2. <https://www.papcel.cz>
3. <https://www.andritz.com/>



УДК 676.038.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПУСКУ МАКУЛАТУРИ У  
ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ДЛЯ ГОФРУВАННЯ**

магістрант Дажук О.О., к.т.н., доц. Мовчанюк О.М.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

У світовому виробництві на долю таропакувальних видів паперу та картону припадає понад 40 %. І обсяги їх виготовлення продовжують зростати. Такі ж тенденції спостерігаються і на українському ринку картонно-паперової продукції [1]. У 2021 році, порівняно з 2020-м, виробництво картону тарного та паперу для гофрування на вітчизняному ринку збільшилося на 7,9%. Слід зазначити, що макулатура для українських підприємств є основним напівфабрикатом, у сировинному балансі країни її частка становить близько 95% [2].

Папір для гофрування виготовляється переважно з макулатури. Від якості підготовки макулатурної маси залежить і якість паперу, і економічні показники виробництва.

Загальноприйнятими принципами підготовки макулатурної маси є збереження потенціалу паперотворних властивостей вторинних волокон, зниження втрат волокна, зменшення енергоємності, підвищення якості макулатурної маси [3]. Впровадження нових технологій та обладнання в потоки підготовки макулатурної маси переважно спрямоване на підвищення якості паперу, зниження його собівартості та збільшення продуктивності технологічних ліній.

Першим технологічним процесом у потоках підготовки макулатурної маси є розпуск макулатури для отримання волокнистої суспензії, що супроводжується видаленням найбільш крупних забруднень. Традиційним

обладнанням для розпуску є гідророзбивачі. Але в гідророзбивачах доцільно проводити лише попередній розпуск макулатури для отримання маси, що може перекачуватися насосами. Для розволокнення нерозпущених в гідророзбивачі фрагментів макулатури використовується технологія дорозволокнення у спеціальних апаратах (вторинних гідророзбивачах), які є більш компактними та економічними. Це дозволяє скоротити тривалість попереднього розпуску та одночасно знизити питомі витрати енергії (ПВЕ) на розпуск. Орієнтовний розподіл ПВЕ під час розпуску в гідророзбивачі за концентрації маси 3 – 6 % становить 18 – 40 кВт·год/т, в той час як в апаратах для дорозволокнення за такої ж концентрації маси – 16 – 20кВт·год/т [3].

Компанія «Parcel» пропонує високоефективний вузол розпуску макулатури (рис. 1 і 2) на базі вертикального гідрозбивача LCV-65, що працює в безперервному режимі. Для видалення легких довгих забруднень (мотузок, скотчів, ганчір'я тощо) з ванни гідророзбивача під час роботи він укомплектований джгутовитягувачем марки SN-13 та додатковим пристроєм для різання джгута марки DZS-65. Крім того, для очищення гідророзбивача під час роботи передбачено один чи два періодичні сепаратори марки PSN-40, відходи з яких надходять до барабану забруднень марки OBN-20. Там вони піддаються промиванню та зневодненню. Промиті у барабані відходи, що практично не містять волокна, далі подаються у прес відходів OLV-600 для подальшого зневоднення [4].

Остаточне компонування всього вузла розпуску залежить насамперед від забрудненості макулатури та необхідної продуктивності всієї лінії. У випадку більш забрудненої макулатури або потреби у збільшенні продуктивності передбачається встановлення двох сепараторів PSN-40 [4].

Вертикальний гідророзбивач LCV-65, залежно від властивостей макулатури, що розпускається, та кількості забруднень, що містяться в ній,

здатний забезпечити продуктивність від 500 до 650 т/добу. Гідророзбивач складається з металевої нержавіючої ванни, що встановлена на залізобетонних опорах. У днищі ванни об'ємом 65 м<sup>3</sup> розташовані функціональні елементи гідророзбивача: ротор НС для роботи за середньої концентрації маси, лопатевий обід, статорне сортувальне сито (рис. 3). Всі вони виконані зі спеціальної зносостійкої нержавіючої сталі. Потужність двигуна – 560 кВт, редуктор з кожухом [4].

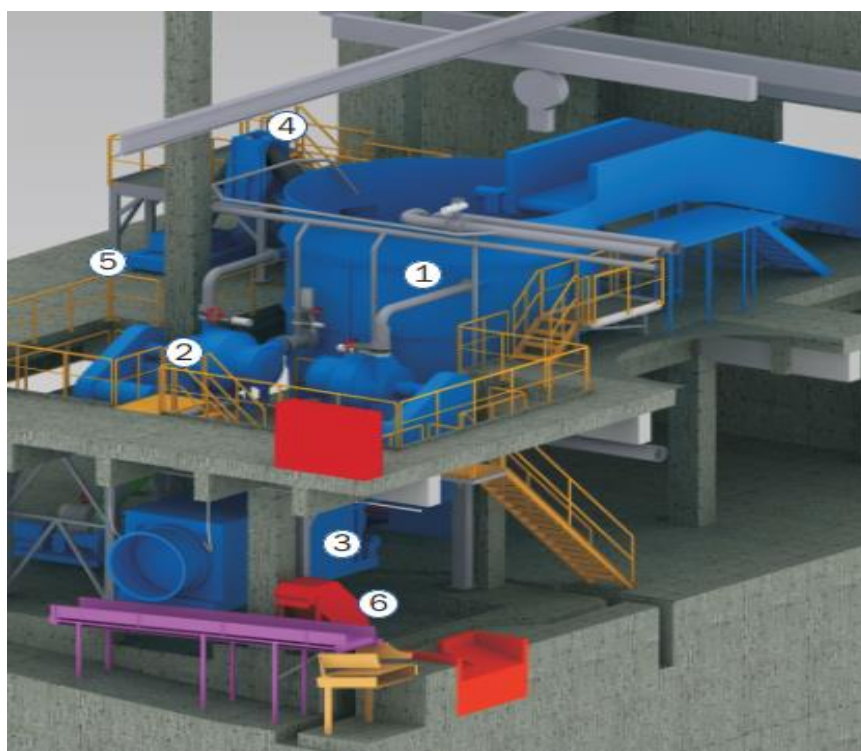


Рис. 1. Вузол розпуску макулатури:

1– вертикальний гідророзбивач; 2 – періодичний сепаратор забруднень; 3 – зневоднювальний барабан; 4 – джгутовитягувач; 5 – пристрій для різання джгута; 6 – решітка, що самоочищується

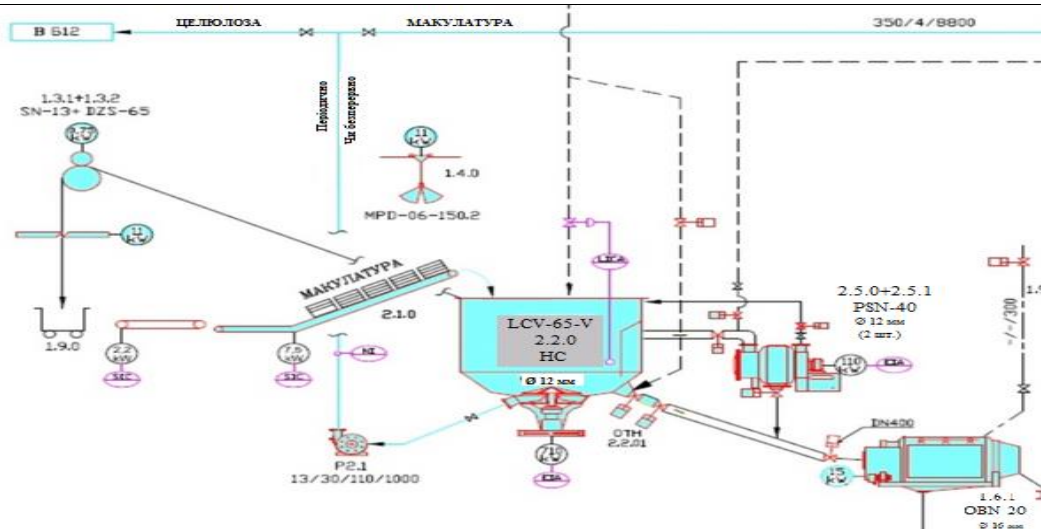
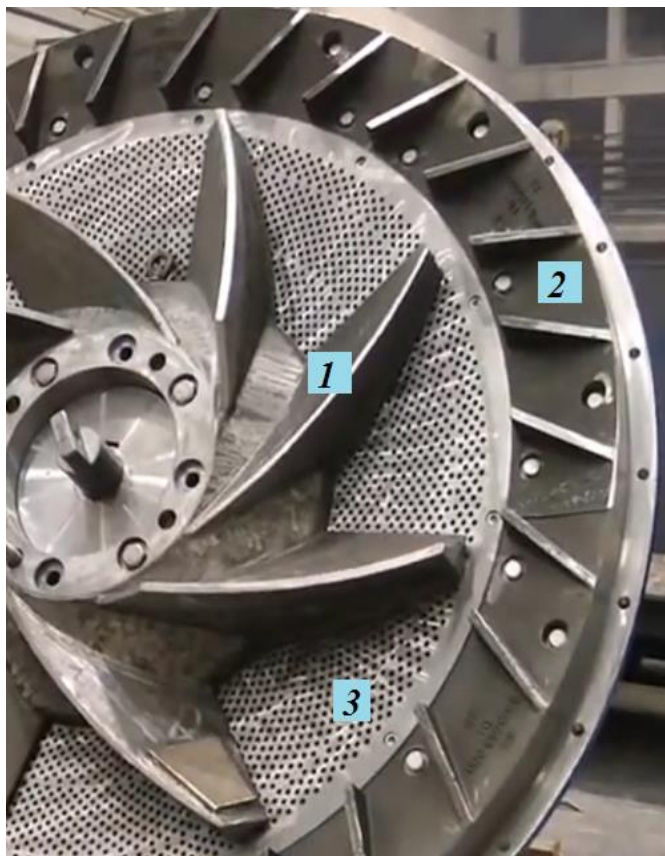


Рис. 2. Схема вузла розпуску макулатури

Рис. 3. – Функціональні елементи гідророзбивача LCV-65: 1 – ротор; 2 – лопатевий обід; 3 – сортувальне сито



Сепаратор PSN-40 відноситься до категорії вторинних гідророзбивачів закритого типу і призначений для очищення основного гідророзбивача LCV-65, що працює в безперервному режимі, від небажаних домішок, таких як шматочки фольги, пластику, гуми, ганчір'я, дерева тощо. Очищення здійснюється під

час роботи гідророзбивача. Продуктивність сепаратора PSN-40 залежить від марки макулатури та ступеня її забрудненості і становить 80 – 150 т/добу, потужність двигуна – 90 кВт. Сепаратор має конусне сито діаметром 800 мм і нижній патрубок відходів [4].

Таким чином, використовуючи вузол розпуску компанії «Parcel», можна суттєво збільшити продуктивність технологічного потоку підготовки макулатурної маси у виробництві паперу для гофрування та ефективність видалення забруднень на початковій стадії переробки макулатури, знижуючи при цьому питомі витрати енергії та втрати волокна.

#### **Перелік посилань :**

1. Астратов М.С., Гомеля М.Д., Мовчанюк О.М. Технологія переробки паперу та картону. Ч. 1 : навчальний посібник. третє видання, доповнене, перероблене. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 270 с.

2. Литвак Э.Л. Сопротивляемся продавливанню: итоги работы БП Украины 2021 / Журнал Гофроиндустрия, 2022. – № 02 (188). – С. 26 – 32.

3. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть I. – 107 с.

4. High-capacity pulping node. URL: <https://www.papcel.cz/ru/produkty/papir/packaging-materials/stock-preparation-line/machinery-and-equipment/raw-material-pulping/> (Дата звернення: 20.10.2022).

УДК 678.023

## VELOCITY IN THE SECOND SUBZONE OF DISC EXTRUSION PROCESS

PhD student Novodvorskiy V., Ph.D., Associate Professor Shved M.,  
**National Technical University of Ukraine**  
**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

### ABSTRACT.

An example is given of how the melt velocity in the second subzone can be adjusted to increase the overall shear rate in order to regulate the temperature homogeneity of the melt.

**KEY WORDS:** extrusion, polymer, melt, temperature homogeneity.

### АННОТАЦІЯ.

Наведено приклад того, як можна регулювати швидкості розплаву в другій підзоні для збільшення загальної швидкості зсуву з метою регулювання температурної однорідності розплаву

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екструзія, полімер, розплав, температурна однорідність.

In [1], a homogenization zone is described, which consists of several separate subzones. For a better understanding of the homogenization process, (Fig.1) shows how the velocities in the second subzone can be managed.

There are several ways to increase the overall shear rate in the second subzone:

- reduce the channel width  $h_1$  (Fig.1.b)
- increase the speed of the disc rotation  $n$  (Fig.1.c)
- increase the speed of the disk and reduce the width of the channel (Fig.1.d)

**Conclusion.** Knowing how to adjust the speed in the homogenization zone, it is possible to adjust the temperature homogeneity. And for this it is necessary to understand how to regulate the distribution of velocities in each subzone.

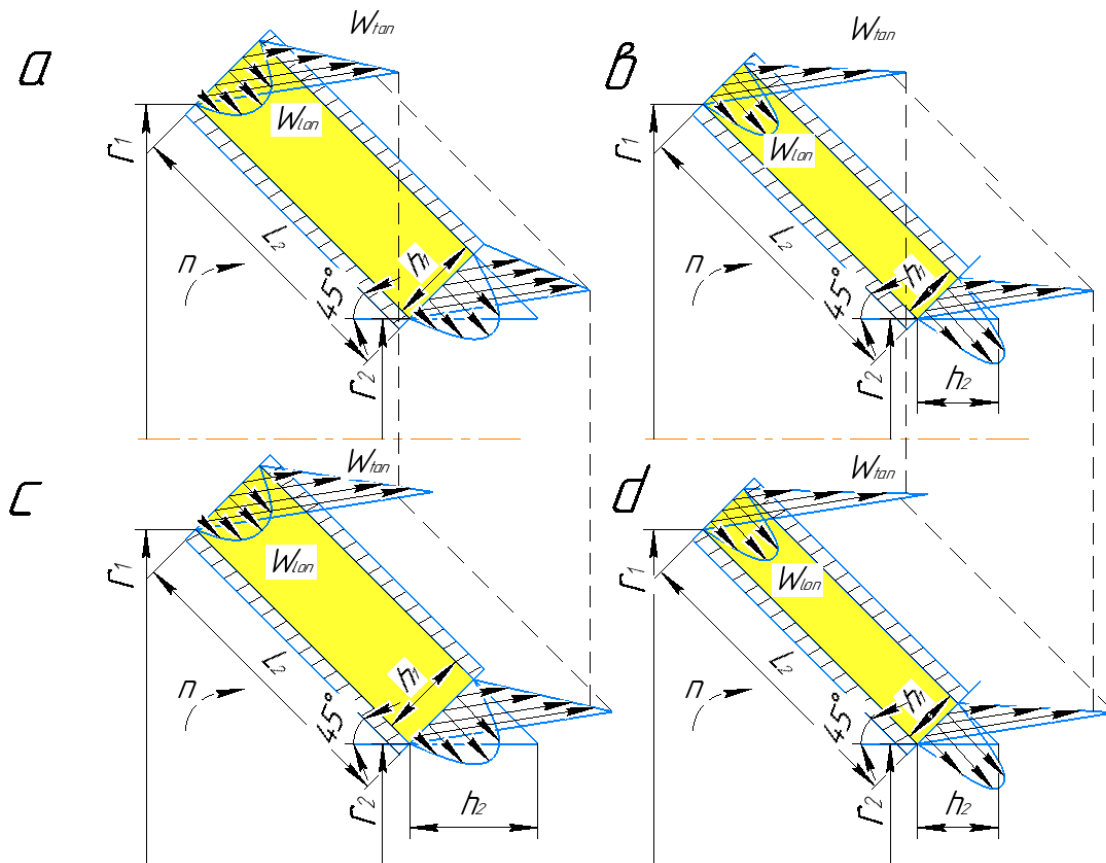


Fig.1. Distribution of longitudinal and tangential velocity in the channel with increasing screw speed and reducing the annular clearance width  $h_1$  in second subzone

### References:

1. Новодворський В. В., Ковба А.М., Швед М.П., Швед Д. М., Керований процес екструзії полімерів, XXXIX Науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім.Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 12 травня 2021 р., с. 108-110;

УДК 676.275

**ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ДОПОМІЖНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ  
ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КАРТОНУ ДЛЯ ПЛОСКИХ ШАРІВ  
ГОФРОКАРТОНУ**

магістрант Вилку Ю.О., аспірантка Якименко О.С., професор Барбаш В. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Досліджено процес використання хімічних допоміжних речовин для покращення показників картону для плоских шарів гофрокартону. Встановлено, що за витрат хімічно-допоміжної речовини NeitroBond TWS 14 10 кг на тонну картону для поверхневих шарів гофрокартону приріст фізико-механічних показників картону становив від 5,2% до 44,9%. Показано, що додавання NeitroBond TWS 14 в масу з витратами 5 кг/т картону марки К – 125 покращує його фізико–механічні показники на 3,8 – 37,5%.

**Ключові слова:** хімічна допоміжна речовина, макулатура, картон для плоских шарів гофрокартону

The process of using chemical auxiliary substance to improve cardboard performance for flat layers of corrugated cardboard has been investigated. It was established that at the consumption of NeitroBond TWS 14 chemical auxiliary substance of 10 kg per ton of cardboard for the surface layers of corrugated cardboard, the increase in physical and mechanical indicators of cardboard was from 5.2% to 44.9%. It is shown that the addition of NeitroBond TWS 14 to the mass with consumption of 5 kg/t of K-125 cardboard improves its physical and mechanical indicators by 3.8-37.5%.



---

**Keywords:** chemical auxiliary substance, waste paper, cardboard for flat layers of corrugated cardboard

В світовій целюлозно-паперовій промисловості в останні роки спостерігається постійне зростання обсягів виробництва паперу і картону для пакування різних продовольчих товарів і предметів культурно-побутового призначення. Серед пакувальних видів картонно-паперової продукції важливе значення для економіки і культури сучасного суспільства має картон макулатурний для плоских шарів гофрокартону. У порівнянні з іншими матеріалами для пакування, картон макулатурний має ряд таких переваг, як: відносно дешевизну і доступність вихідної сировини, можливість отримання матеріалу з раніше заданими фізико-механічними та іншими споживчими властивостями [1].

Картонна тара легко утилізується і до 80% повторно використовується у вигляді макулатури, що має велике значення для ресурсозбереження і зниження собівартості кінцевої картонно-паперової продукції. Вітчизняні підприємства галузі зазвичай використовують макулатуру, яка не завжди забезпечує необхідні фізико – механічні показники паперу і картону, а тому для їх покращення потребують застосування хімічних допоміжних речовин (ХДР). Тому дослідження і впровадження нових ХДР у технологічні потоки з виробництва картонно-паперової продукції є важливою науково-практичною задачею.

Одним із вітчизняних підприємств, яке займається виготовленням необхідних для підприємств галузі ХДР, є ТОВ «Єврохім Сервіс». В лабораторних умовах на ПрАТ «Жидачівський целюлозно - паперовий комбінат» проведено дослід з порівняння ефективності ХДР цієї компанії для покращення фізико – механічних властивостей картону та паперу. Після проведення попередніх досліджень встановлено, що така катіонна речовина

як NEITROBOND TWS14 є однією із таких ефективних ХДР. Вона може надати тимчасову вологоміцність паперу і картону у вологому стані, допомагає уникнути проблеми з переробкою браку, що особливо доречно у виробництві санітарно-гігієнічних видів паперів, зокрема, серветок, хусток, рушників, туалетного паперу з целюлози і макулатурного волокна. NeitroBond TWS14 дозволяє покращити показники міцності картонно-паперової продукції та знизити її собівартість продукції. Продукт не вимагає додаткового приготування та готовий до використання в товарному вигляді [2].

В лабораторних дослідженнях порівнювали вплив різних ХДР на значення фізико – механічних показників картону для плоских шарів гофрокартону, для чого використовували волокнисту масу з машинного басейну підприємства концентрацією 3,2 г/л, ступінь мливу 33°ШР, рН - 7,3 і температурою 28°С, а також реєстрову воду з такими показниками: концентрацією 0,165 г/л, рН 6,9 і температурою 27°С. Для проведення досліджень відбирали 100 грамів волокнистої маси і 900 грамів реєстрової води, перемішували і додавали необхідні ХДР відповідно наступних варіантів:

- Перший – холоста проба без всяких домішок
- Другий – з використанням коагулянту NeitroFix F 25 та аніонного крохмалю EHStarch APN. Витрати NeitroFix F 25 - 5 кг/т, EHStarch APN - 10 кг/т
- Третій – з використанням катіонного крохмалю EHStarch EC 40. Витрати EHStarch EC 40 - 10 кг/т
- Четвертий – суміш компонентів коагулянт NeitroFix F 25, аніонний крохмаль EHStarch APN і NeitroBond TWS 14. Витрати NeitroFix F 25 - 5 кг/т, EHStarch APN - 10 кг/т, NeitroBond TWS 14 – 10 кг/т.

З волокнистої суспензії відбирали 850 грам, робили відливки масою 100 г/м<sup>2</sup>, які пресували і висушували взірці для проведення з них подальших аналізів, результати яких наведено у таблиці.

Як видно із наведених у таблиці даних, використання NeitroBond TWS14 покращує всі фізико – механічні показники картону для плоских шарів гофрокартону, а саме:

- Абсолютний опір продавленню – на 13,9 %
- Руйнівне зусилля при стисканні кільця – на 44,9 %

Таблиця – Фізико-механічні показники картону для плоских шарів гофрокартону

Лабораторні випробування	Холоста проба	NeitroFix F 25 і EHStarch APN	EHStarch EC 40	NeitroFix F 25, EHStarch APN і NeitroBond TWS 14
Абсолютний опір продавленню, кПа	169,17	178,00	186,33	192,67
Руйнівне зусилля при стисканні кільця, РСТ	85,67	89,93	112,43	124,13
Опір площинному стисненню гофрованого зразка, СМТ (Н)	140,90	140,53	136,63	148,23
Опір торцевому стисненню гофрованого зразка, ССТ (кН/м)	0,62	0,64	0,67	0,79
Опір стисканню зразка на короткій відстані в попередньому напрямі, SCT (кН/м)	0,70	0,80	0,77	0,97

- Опір площинному стисненню гофрованого зразка – на 5,2 %

- Опір торцевому стисненню гофрованого зразка – на 28,6 %
- Опір стисканню зразка на короткій відстані в попередньому напрямі – на 38,1 % у порівнянні зі зразками холостої проби.

Таким чином, хімічна допоміжна речовина NeitroBond TWS14 з витратою 10 кг/т рекомендується використовувати у виробництві картону для плоских шарів гофрокартону для покращення його споживчих характеристик.

**Перелік посилань:**

1. Барбаш В.А. Інноваційні технології рослинного ресурсозбереження: Навчальний посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 288 с.

UDC 631.527:633

**CALCULATION EXTRUSION PARAMETERS IN THE MATRIX CHANNEL DURING THE PROCESSING OF GRAIN MIXTURES**

d.t.s. G. Ivanitskyi, c.t.s. B. Tselen, c.t.s. A. Nedbaylo, c.t.s.N. Radchenko

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS Ukraine**

**ABSTRACT:** The authors presented the results of the numerical calculation of temperature changes in the pre-matrix and matrix zones of the extruder on the example of processing a multicomponent mixture based on soybeans, corn and flax. The regularity of temperature growth with characteristic jumps during the transition from zone to zone and the influence on their size of the gap change and the amount of moisture in the raw materials have been established. The obtained data can be useful in studying the mechanism of influence of high-temperature processing on the structure and physicochemical composition of multicomponent plant mixtures.

**Keywords:** extruder, extrudate, grain mixture.

To date, increasing the volume of livestock production is impossible without solving the problem of obtaining high quality protein feed. Soybeans, peas, corn, rapeseed, various forage grasses, etc. are mainly used as raw materials. Extrusion equipment is most often used for their processing. This is due to the versatility of the technology since it allows you to process almost any type of raw material, implementing the process in a wide range of changes in temperature, pressure and processing time, which ultimately makes it possible to obtain a wide range of various feed products. However, when organizing the process, certain difficulties arise associated with predicting the degree of exposure to high temperature (up to 180<sup>0</sup>C) and pressure (up to 7 MPa) that occur in the pre-matrix zone and in the matrix, which grow sharply in less than one minute on vegetable raw materials, that is, its protein structure, fats, carbohydrates and vitamins.

In this regard, there is a need to carry out a preliminary theoretical calculation of these parameters, which will allow you to control the depth of physicochemical and structural transformations and obtain the necessary properties and quality of the final product at the output. Within the framework of this direction, the authors presented the results of the theoretical calculation of the zone before entering the matrix and in the matrix, which allows calculating the nature of the temperature increase in the plant mixture. Figure 1 shows the calculation results as an example, in particular, the regularity of temperature changes the mixture of soybeans, corns and flax along the pre-matrix zone and in the matrix with different amounts of moisture in the raw material (Fig. 1a) and the dependence of temperature at a variable gap in the matrix zone.

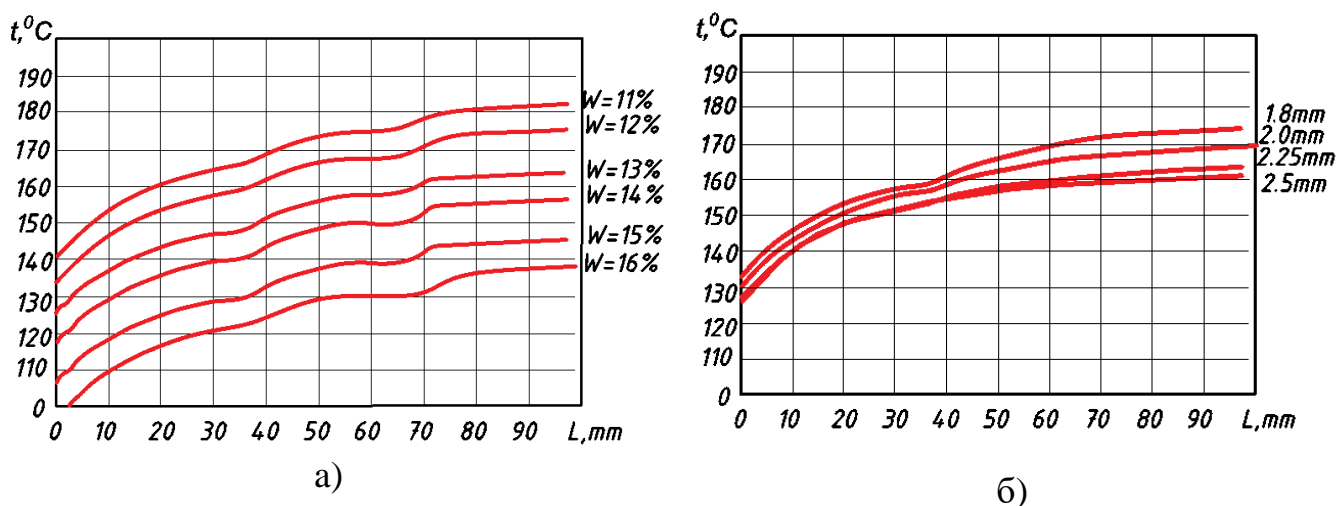


Figure 1 – The nature of the change in the temperature of the plant mixture along the pre-matrix and matrix zones at different values:

a – moisture content  $w$ ; b – gap width  $h$ .

**Conclusion.** The calculated dependences of temperature changes obtained showed that in the process of passing the pre-matrix zone and matrix, the temperature of the extruded mixture is constantly increasing and with a slight jump during the transition from zone to zone. The nature of the temperature increase is maintained regardless of the variable parameters of the process (the amount of moisture and the size of the gap). It was established that the change in the size of

the gap from 1.8 to 2.5mm. allows you to adjust the temperature of the mixture by an average of 5<sup>0</sup>C, and the change in moisture content – by 10<sup>0</sup>C.

УДК 662.61, 662.66, 532.528.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКІСТІ ВОДОВУГІЛЬНОЇ СУСПЕНЗІЇ В УМОВАХ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

д.т.н. Іваницький Г.К., к.т.н. Целень Б.Я., к.т.н. Недбайло А.Є.,  
к.т.н. Радченко Н.Л., Щепкін В.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України

**АНОТАЦІЯ.** *Наведені результати дослідження інтенсифікації процесу отримання водовугільної суспензії (ВВС) з використанням гідродинамічної кавітації. З метою дослідження розроблено та виготовлено гідродинамічний змішувач, основою якого є сопло, оснащене турбулізатором потоку. Було визначено вплив гідродинамічної кавітації на седиментаційну стійкість суспензії в залежності від її масової концентрації.*

**Ключові слова:** *гідродинамічна кавітація, водовугільне паливо, седиментаційна стійкість.*

## STUDY OF STABILITY OF HYDROCARBON SUSPENSION IN THE CONDITIONS OF CAVITATION

Dr. Sc. Ivanitsky G.K., Ph.D. Tselen B.Ya., Ph.D. Nedbailo A.Y.,  
Ph.D. Radchenko N.L., Shchepkin V.V.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

**ABSTRACT:** *The article presents the results of a study of the intensification of the process of producing coal-water suspension using hydrodynamic cavitation. For the purpose of the research, a hydrodynamic mixer was developed and manufactured, the basis of which is a nozzle equipped with a flow turbulator. The influence of hydrodynamic cavitation on the sedimentation resistance of the water-coal suspension was determined, depending on its mass concentration.*

**Key words:** *hydrodynamic cavitation, hydrocarbon fuel, sedimentation resistance.*



На сьогоднішній день перед Україною та багатьма країнами світу гостро стоїть питання енергетичної безпеки та пошуку альтернативних видів палив, що здатні повноцінно замінити традиційні. Розвиток технологій виробництва водовугільних суспензій є дуже актуальним для вирішення глобальних проблем ресурсощадності та екології. У зв'язку з цим було створено експериментальний стенд, робочим органом якого стало кавітаційне сопло з турбулізатором потоку у вигляді крильчатки. Метою даної роботи є дослідження седиментаційної стійкості водовугільного палива в умовах гідродинамічних режимів, що реалізуються на даному стенді.

Седиментаційну стійкість водовугільної суспензії визначали по висоті шару осадження дисперсної твердої фази і зміні технологічних характеристик з плином часу. Отримані залежності, наведені в графічному вигляді, на рис.3, показують стабільність суспензії протягом 5-6 діб. Зниження висоти шару дисперсної фази свідчить про дестабілізацію дисперсної системи, що приводить до поступового осадження і згущення вугільних частинок.

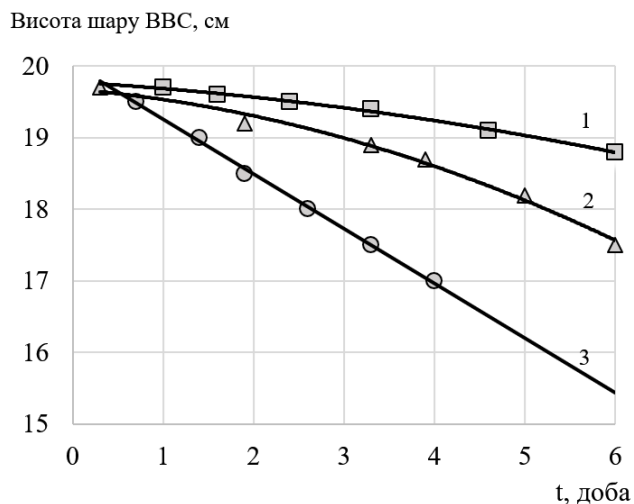


Рис. 1. Залежність висоти шару дисперсної фази з плином часу. 1 – масова концентрація вугілля 56%; 2 – масова концентрація вугілля 60%; 3 – масова концентрація вугілля 65%.

Отже, при високих масових концентраціях суспензії для довготривалого зберігання є необхідність використання хімічних стабілізаторів, що підвищують седиментаційну стійкість емульсії.

UDC 631.527:633

**FEATURES OF THE PROCESSING OF THE MIXTURE BASED ON  
SOYBEANS AND CORN IN THE CHANNEL OF THE EXTRUDER  
MATRIX**

leader researcher, Doctor of Engineering, G. Ivanitskyi,

leader researcher, Ph.D. B. Tselen, senior researcher, Ph.D.A. Nedbaylo,

senior researcher, Ph.D. N. Radchenko

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS Ukraine**

**ABSTRACT:** The authors presented the results of the numerical calculation of temperature changes in the pre-matrix and matrix zones of the extruder on the example of processing a multicomponent mixture based on soybeans, corn and flax. The regularity of temperature growth with characteristic jumps during the transition from zone to zone and the influence on their size of the gap change and the amount of moisture in the raw materials have been established. The obtained data can be useful in studying the mechanism of influence of high-temperature processing on the structure and physicochemical composition of multicomponent plant mixtures.

**Keywords:** extruder, extrudate, grain mixture.

To date, increasing the volume of livestock production is impossible without solving the problem of obtaining high quality protein feed. Soybeans, peas, corn, rapeseed, various forage grasses, etc. are mainly used as raw materials. Extrusion equipment is most often used for their processing. This is due to the versatility of the technology since it allows you to process almost any type of raw material, implementing the process in a wide range of changes in temperature, pressure and processing time, which ultimately makes it possible to obtain a wide range of various feed products. However, when organizing the process, certain difficulties arise associated with predicting the degree of exposure to high temperature (up to

180<sup>0</sup>C) and pressure (up to 7 MPa) that occur in the pre-matrix zone and in the matrix, which grow sharply in less than one minute on vegetable raw materials, that is, its protein structure, fats, carbohydrates and vitamins.

In this regard, there is a need to carry out a preliminary theoretical calculation of these parameters, which will allow you to control the depth of physicochemical and structural transformations and obtain the necessary properties and quality of the final product at the output. Within the framework of this direction, the authors presented the results of the theoretical calculation of the zone before entering the matrix and in the matrix, which allows calculating the nature of the temperature increase in the plant mixture. Figure 1 shows the calculation results as an example, in particular, the regularity of temperature changes the mixture of soybeans, corns and flax along the pre-matrix zone and in the matrix with different amounts of moisture in the raw material (Fig. 1a) and the dependence of temperature at a variable gap in the matrix zone.

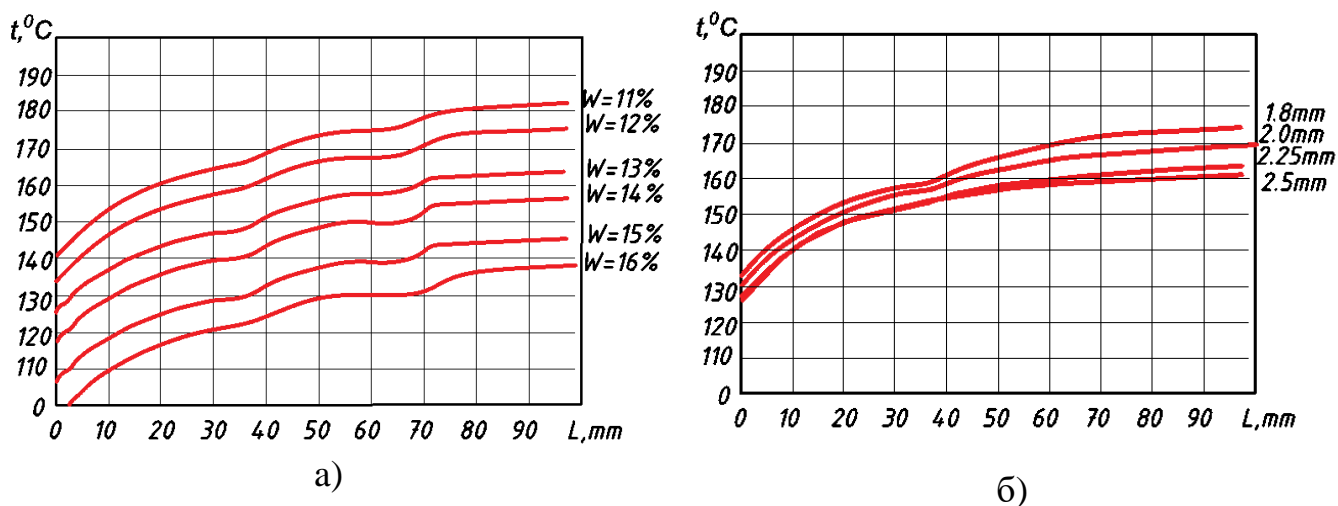


Figure 1 – The nature of the change in the temperature of the plant mixture along the pre-matrix and matrix zones at different values:

a – moisture content  $w$ ; b – gap width  $h$ .

**Conclusion.** The calculated dependences of temperature changes obtained showed that in the process of passing the pre-matrix zone and matrix, the temperature of the extruded mixture is constantly increasing and with a slight jump

during the transition from zone to zone. The nature of the temperature increase is maintained regardless of the variable parameters of the process (the amount of moisture and the size of the gap). It was established that the change in the size of the gap from 1.8 to 2.5mm. allows you to adjust the temperature of the mixture by an average of 5<sup>0</sup>C, and the change in moisture content – by 10<sup>0</sup>C.

UDC 631.527:633

**Calculation extrusion parameters in the matrix channel during the processing of grain mixtures.**

d.t.s. G. Ivanitskyi, c.t.s. B. Tselen, c.t.s. A. Nedbaylo, c.t.s.N. Radchenko

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS Ukraine**

**ABSTRACT:** The authors presented the results of the numerical calculation of temperature changes in the pre-matrix and matrix zones of the extruder on the example of processing a multicomponent mixture based on soybeans, corn and flax. The regularity of temperature growth with characteristic jumps during the transition from zone to zone and the influence on their size of the gap change and the amount of moisture in the raw materials have been established. The obtained data can be useful in studying the mechanism of influence of high-temperature processing on the structure and physicochemical composition of multicomponent plant mixtures.

**Keywords:** extruder, extrudate, grain mixture.

To date, increasing the volume of livestock production is impossible without solving the problem of obtaining high quality protein feed. Soybeans, peas, corn, rapeseed, various forage grasses, etc. are mainly used as raw materials. Extrusion equipment is most often used for their processing. This is due to the versatility of the technology since it allows you to process almost any type of raw material, implementing the process in a wide range of changes in temperature, pressure and processing time, which ultimately makes it possible to obtain a wide range of various feed products. However, when organizing the process, certain difficulties arise associated with predicting the degree of exposure to high temperature (up to 180<sup>0</sup>C) and pressure (up to 7 MPa) that occur in the pre-matrix zone and in the matrix, which grow sharply in less than one minute on vegetable raw materials, that is, its protein structure, fats, carbohydrates and vitamins.

In this regard, there is a need to carry out a preliminary theoretical calculation of these parameters, which will allow you to control the depth of physicochemical and structural transformations and obtain the necessary properties and quality of the final product at the output. Within the framework of this direction, the authors presented the results of the theoretical calculation of the zone before entering the matrix and in the matrix, which allows calculating the nature of the temperature increase in the plant mixture. Figure 1 shows the calculation results as an example, in particular, the regularity of temperature changes the mixture of soybeans, corns and flax along the pre-matrix zone and in the matrix with different amounts of moisture in the raw material (Fig. 1a) and the dependence of temperature at a variable gap in the matrix zone.

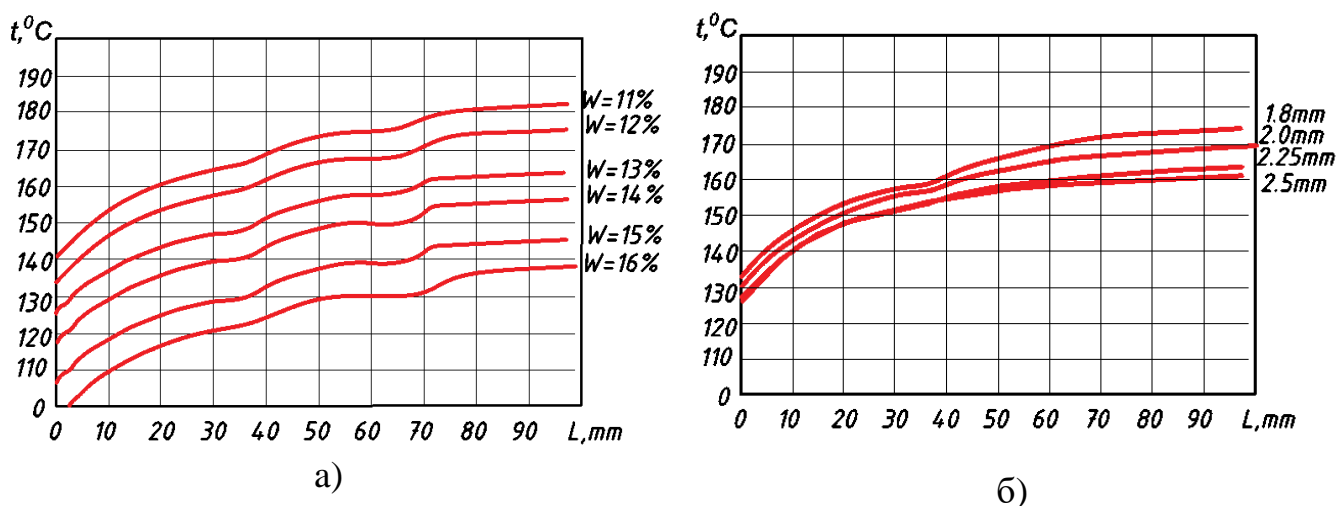


Figure 1 – The nature of the change in the temperature of the plant mixture along the pre-matrix and matrix zones at different values:

a – moisture content  $w$ ; b – gap width  $h$ .

**Conclusion.** The calculated dependences of temperature changes obtained showed that in the process of passing the pre-matrix zone and matrix, the temperature of the extruded mixture is constantly increasing and with a slight jump during the transition from zone to zone. The nature of the temperature increase is maintained regardless of the variable parameters of the process (the amount of moisture and the size of the gap). It was established that the change in the size of

the gap from 1.8 to 2.5mm. allows you to adjust the temperature of the mixture by an average of 5<sup>0</sup>C, and the change in moisture content – by 10<sup>0</sup>C.



UDC 532.584:537.84

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОНИ ОЧИЩЕННЯ МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ

к.т.н. Дахненко В.Л.

Інститут технічної теплофізики Національної Академії Наук України

***АНОТАЦІЯ.** Досліджені параметри компонування робочої зони гранульованих фільтруючих насадок магнітних фільтрів із врахуванням особливостей намагнічування.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ФІЛЬТРУЮЧА НАСАДКА, МАГНІТНЕ ПОЛЕ, НАПРУЖЕНІСТЬ МАГНІТНОГО ПОЛЯ, ІНДУКЦІЯ, МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ, ГАБАРИТНИЙ РОЗМІР.

Наявність зважених домішок для більшості рідких середовищ є неминучим у результаті зношування й корозії елементів устаткування. Їх наявність приводить до погіршення якості й росту собівартості одиниці продукції, зниження надійності й довговічності устаткування. Найбільш характерним видом забруднень є залізовмісткі високодисперсні включення, котрі важко піддаються вилученню при використанні традиційних очисних методів. Особливістю таких домішок різних рідин і газів є те, що вони мають переважно феромагнітні (феримагнітні, антиферомагнітні) властивості, тобто здатні до впливу на них магнітного поля. Ефективним способом вилучення є застосування магнітних очисних пристроїв, робота яких заснована на захопленні магнітосприйнятливих часток при впливі неоднорідного магнітного поля [1].

Основним робочим органом магнітних фільтрів, призначених для очищення рідин і газів від високодисперсних продуктів корозії є фільтруюча насадка. Її сорбційна функція залежить від магнітних властивостей гранул насадки у поєднанні із системою намагнічування, адже геометрія вузла

очищення фільтра визначає наявність фактора розмагнічування, що знижує її потенційні можливості.

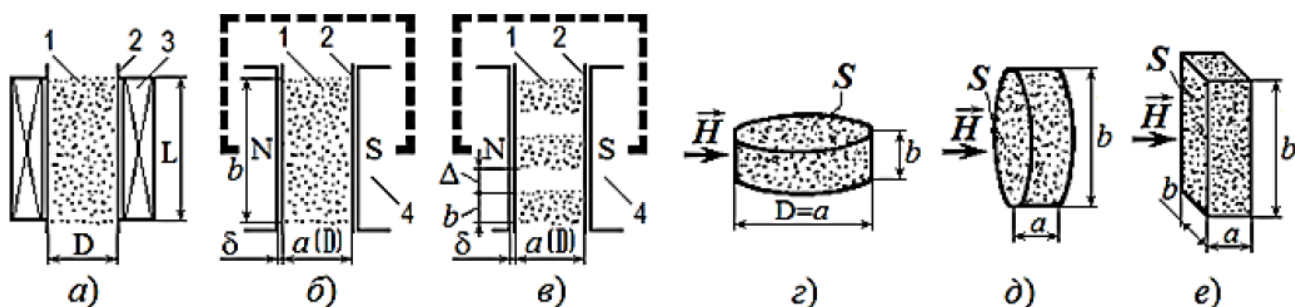


Рисунок. 1. Варіанти намагнічування насадок: розташування насадки в соленоїді (а), з боковим розташуванням магніту (б, в) і варіанти орієнтації насадок циліндричної (г, д) і призматичної (е) форми по відношенню до напрямку намагнічування: 1 – фільтруюча насадка, 2 – корпус, 3 – соленоїд, 4 – полюса системи намагнічування.

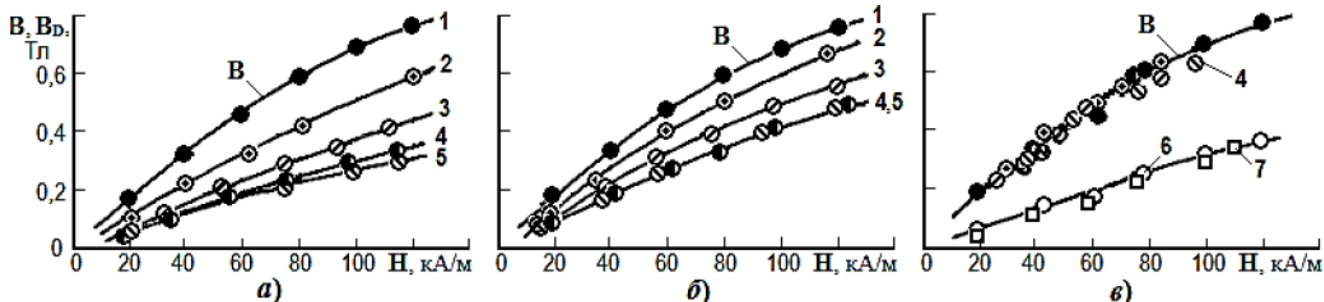


Рисунок. 2. Криві намагнічування насадки як квазисуцільного матеріалу (лінія 1, індукція  $B$ ) різних зразків насадок (лінії 2 – 7, індукція  $B_0$ ): циліндричної форми поперек осі,  $\delta/a=0,91$  (а);  $\delta/a=0$  (б); намагнічуванні насадок призматичної (лінії 2, 3, 5, 7) і циліндричної форм уздовж осі (лінія б)  $\delta/a=0$  для 2, 3, 5,  $\delta/a=1,1$  для 6, 7 (в); відносний габарит зразків ( $a/b$ ): 2 – 4,4; 3 – 2,0; 4 – 1,0; 5 – 0,5; 6 – 0,44; 7 – 0,5.

На рис. 1, а зображена схема соленоїдного короткого фільтра, коли відношення довжини соленоїда  $L$  до його діаметра  $D$  незначне. Наприклад, при  $L/D=1$ , за рахунок підвищеного фактора розмагнічування, середнє значення індукції в насадці сягає 30-40% потенційного  $B$ . Фактор

розмагнічування проявляється й у фільтрах з поперечним намагнічуванням насадки (рис. 1,б), особливо коли між полюсами системи намагнічування, і насадкою конструктивно передбачений немагнітний зазор  $\delta$ .

Геометрія насадки, характеризується параметрами  $a$  (або  $D$ ) і  $b$  (або  $L$ ), при зміні на  $90^\circ$  напрямку намагнічування насадки і  $a \ll b$  наочно свідчить На рис. 1, а зображена схема соленоїдного короткого фільтра, коли відношення довжини соленоїда  $L$  до його діаметра  $D$  незначне. Наприклад, при  $L/D=1$ , за рахунок підвищеного фактора розмагнічування, середнє значення індукції в насадці сягає 30-40% потенційного  $B$ . Фактор розмагнічування проявляється й у фільтрах з поперечним намагнічуванням насадки (рис. 1,б), особливо коли між полюсами системи намагнічування, і насадкою конструктивно передбачений немагнітний зазор  $\delta$ .

Геометрія насадки, характеризується параметрами  $a$  (або  $D$ ) і  $b$  (або  $L$ ), при зміні на  $90^\circ$  напрямку намагнічування насадки і  $a \ll b$  наочно свідчить про несприятливий вплив фактора розмагнічування. У соленоїдних пристроях (рис. 1, а) фактор розмагнічування, насадки значною мірою знижується при  $L/D \geq 4$ , середня індукція в насадці сягає 90% потенційного значення. У фільтрах з поперечним намагнічуванням видовженої насадки (рис. 1, б) цей фактор знижується за рахунок зменшення зазору між сердечником і насадкою [2] виконанням відповідних торцевих і бічних заглиблень у сердечниках, застосуванням феромагнітних вставок у місцях контакту сердечника з корпусом, введенням сердечника безпосередньо в насадку. У таких випадках насадка стає як би зливою з іншими елементами магнітопроводу, утворюючи добре замкнутий магнітний ланцюг. Однак це не завжди можливо здійснити на практиці.

На рис. 2, а, б (лінії 2-5) наведені криві намагнічування насадки (рис. 1, б), із кульок діаметром  $d=1$  мм, розташованих у корпусі діаметром  $a=D=22$  мм ( $a \gg d$  [2]), при двох значеннях ширини зазору:  $d=20$  мм ( $\delta/a=0,91$ ) і  $\delta=0$

(для насадки циліндричної форми зазор  $\delta=0$  формальний, тому що в цьому випадку зазор змінної ширини був – між площиною полюса й циліндричною поверхнею насадки). На рис. 2 (лінії 1) показана потенційна крива намагнічування цієї насадки, що не набагато поступається насадці з кульками підвищеного діаметра [2] з-за різної глибини поверхневого міцного шару, котрий погіршує магнітні властивості куль. Видно, що всі криві поперечного намагнічування насадки при різних відношеннях  $a/b$  (лінії 2-5 на рис. 2, а, б, індукція  $BD$ ) знаходяться нижче кривої потенційно можливого рівня намагнічування (лінія 1 на рис. 2, індукція  $B$ ), але при зменшенні зазору  $\delta$  наближаються до неї.

Слід відзначити, що для насадок, що мають плоскі приполюсні поверхні, рівень намагнічування насадок поперек цих площин при однаковій площі виявляється практично однаковим (рис. 2, в, лінії 6, 7) незалежно від форми бічної поверхні циліндричної (див рис. 1, д) або призматичної (рис. 1, е), – тобто, визначальним параметром тут виступає площа  $S$  (або  $S$  [3]); деяке відхилення може спостерігатися лише при помітній видовженості зразка. Разом з тим у всіх випадках при намагнічуванні таких зразків у дотик з магнітними полюсами ( $\delta/a=0$ ) їхні криві намагнічування відповідають граничній кривій намагнічування насадки (рис. 2, в, лінії 1, 2, 3, 5) у насадці циліндричної форми (рис. 2. б) при  $\delta/a=0$  зазор відсутній формально).

Характерно, що до насадки як до квазісуцільного зразка можуть бути застосовані класичні залежності про поперечне намагнічування ферромагнітного тіла, наприклад, циліндричної форми з коефіцієнтом розмагнічування  $N=1/2$ . Так, можна використати формулу зв'язку магнітної сприйнятливості тіла й матеріалу:



(1)

де  $\kappa_T = \kappa_D = \mu_D - 1$  і  $\kappa = \mu - 1$  – магнітні сприйнятливості тіла (в даному випадку квазісуцільної насадки, котра намагнічується вздовж її діаметра  $a = D$ ) і квазісуцільного матеріалу:  $\mu_D$  і  $\mu$  – відповідно їхній магнітній проникності.

Далі шляхом перерахування з використанням зв'язків  $B_D = \mu_0 \mu_D H$  і  $B = \mu_0 \mu H$  ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнітна постійна) і даних  $B$  (рис. 2. лінія 1)  $B_D/B \rightarrow 0,4$ .

Таким чином, при поперечному намагнічуванні гранульованої насадки циліндричної (і призматичної) форми при реальній наявності зазору між поверхнею насадки й площиною полюсів досить високий рівень намагнічування, що наближається до граничного, досягається тільки при співвідношенні ширини й товщини шару  $a/b \geq 6$ . Крім того, дані для випадку дотикання насадки й полюсів у діапазоні  $a/b = 3-6$  добре узгоджуються з даними по намагнічуванню в соленоїді такого ж за формою зразку уздовж осі [2]. Як видно, таке узгодження справедливо вже при  $a/b$ , або  $L/D \geq 3$ . Для короткого циліндричного зразка, що намагнічується уздовж осі (рис. 3, а, б, в, штрихові лінії 1), при  $L/D < 3$  значення  $B_D/B$  стають помітно меншими відповідних значень  $B_D/B$  для такого ж короткого циліндричного зразка з аналогічними значеннями  $a/b$ , що намагнічується поперек осі (рис. 3, суцільні лінії 1), внаслідок того, що в першому випадку зразок усе більше приймає форму пластинки, а в другому – стрижня малого діаметра.

Висновки. 1. Умова  $a/b \geq 6$  може виступати базовим при конструюванні фільтрів з поперечним намагнічуванням насадки й наявності між полюсом і насадкою зазору, а також і для фільтрів соленоїдного типу. 2. Для дотримання технологічної довжини насадки доцільно використовувати пошарове її розташування (рис. 1, в). 3. Як показують вимірювання індукції  $B_D$  в одному із трьох шарів з регульованими між ними зазорами  $\Delta$  (рис. 4, б), прийнятний відносний зазор між шарами, коли ці шари ведуть себе практично незалежно один від одного, становить  $\Delta/b \geq 2$  (рис. 1, б). Це

означає, що відстань між шарами повинне бути в 2 рази більше власної товщини кожного шару. 4. Полюса зовнішньої системи намагнічування повинні чергуватися відповідно розташуванню фільтаційних шарів.

Список літератури:

1. Яцков Н.В., Сандуляк А.В., Дахненко В.Л. Применение магнито-фильтрационного метода для повышения качества аммиака при производстве азотной кислоты. / Н.В. Яцков // Химическая промышленность, 1991, № 7, с. 30-32.
2. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле. – Львов: Высшая школа. 1984. 167 с.
3. Gillet G. Adaptation des matrices en separation magnetique haul gradient et performance d'un filtre // Mines et carrieres. 1992. N 4. P. 87–94.

Dakhnenko V.L.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

RESEARCH OF THE MAGNETIC FILTERS CLEANING ZONE

Summary

Experimentally investigated parameters of arrangement of working zone of granular filter fillings of magnetic filters are taking into account of features of magnetizing. Keywords: filter fillings, magnetic field, tension of magnetic-field, induction, magnetic receptivity, overall size.

## **Mechanism of structure formation of geopolymer materials**

**Sobchenko V.V., Khvastukhin Yu.I., Zhaivoronok V.A., Sobchenko A.O.**

**Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine**

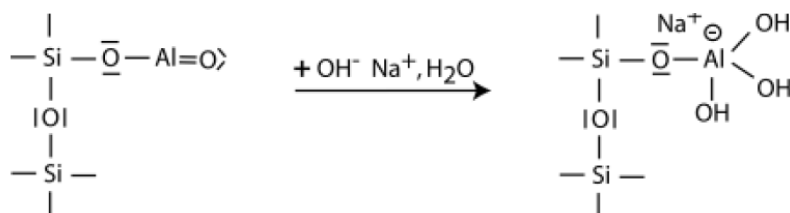
In the production of high-quality building materials, one of the directions is the use of geopolymeric (hydroaluminosilicate) materials, which are obtained as a result of alkaline treatment of raw materials of natural or technogenic origin, including kaolins, rocks, slags, TPP ashes, etc. The formation processes of geopolymeric (hydroaluminosilicate) materials have not been sufficiently investigated [1]. In Ukraine, research was conducted to create conditions for the development of such materials [2]. The Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine conducts research on the processes of obtaining heat-insulating materials, including from alkali-activated siliceous raw materials [3]. During the research, the tasks of assessing the influence of the composition of raw materials and technological parameters of production on their physico-chemical and physico-mechanical properties were set. But an important task is to study the conditions of transition of the initial material into the polymer phase. It is assumed that there is a synthesis of the polymer structure of the initial materials from monomeric silicate and aluminosilicate groups. The initial material will be a geopolymer only when the alkali-activated initial material turns into a zeolite from an amorphous to a semi-crystalline state.

According to the Duxson model, proposed by the authors [4], polymerization begins with the dissolution of finely dispersed, heat-treated aluminosilicate raw materials in an alkaline medium. At the same time, the dispersion and reactivity of aluminum in the raw material are affected. The process takes place with a sufficient amount of water and is accompanied by the

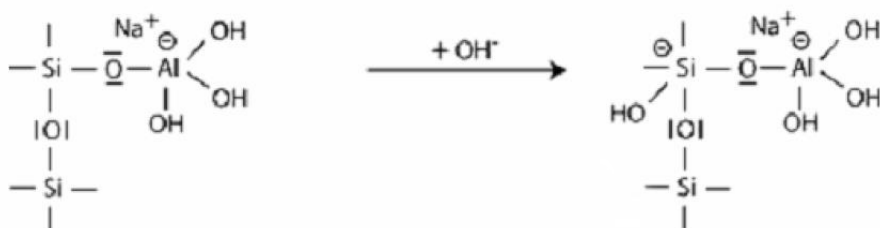
destruction of aluminum and silicon compounds, which go into solution and accumulate as individual particles on the surface (in monomeric form). As solid particles accumulate in the solution, its polymerization takes place, which is called geopolymerization. It is worth noting that when there are sodium or potassium cations in the pores of the geopolymer, which are not chemically bound to it, they migrate to the surface of the material and undergo atmospheric carbonization, which is the reason for the formation of salts on the surface of the geopolymer. [5]

According to the results of studies on the formation of geopolymers [1], the mechanism of structure formation due to the interaction of raw materials with NaOH or KOH occurs in 7 stages:

1. Aluminum Al is formed in the side group of silates  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-(\text{OH})_3-\text{Na}^+$ :

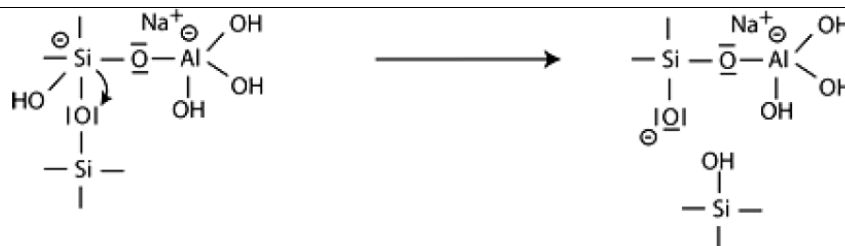


2. The dissolution of alkali begins with the addition of OH- hydroxyl groups to Si atoms, as a result of which the valence of electrons increases to the pentavalent state:

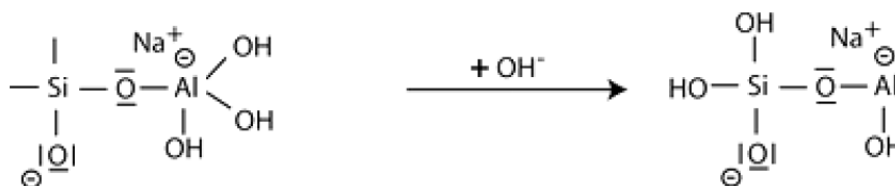


3. Oxygen O, which is contained in the siloxane  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ , is split off with the formation of intermediate silane groups  $-\text{Si}-\text{OH}$  and the main siloxogroups  $\text{Si}-\text{O}$ :

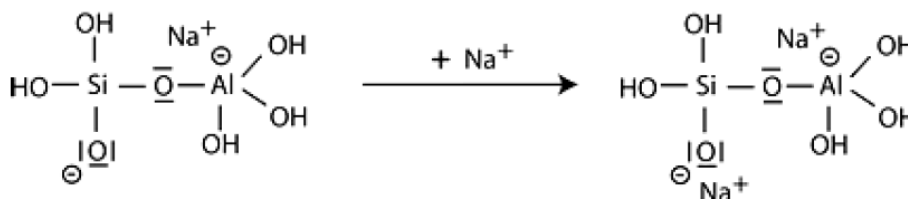




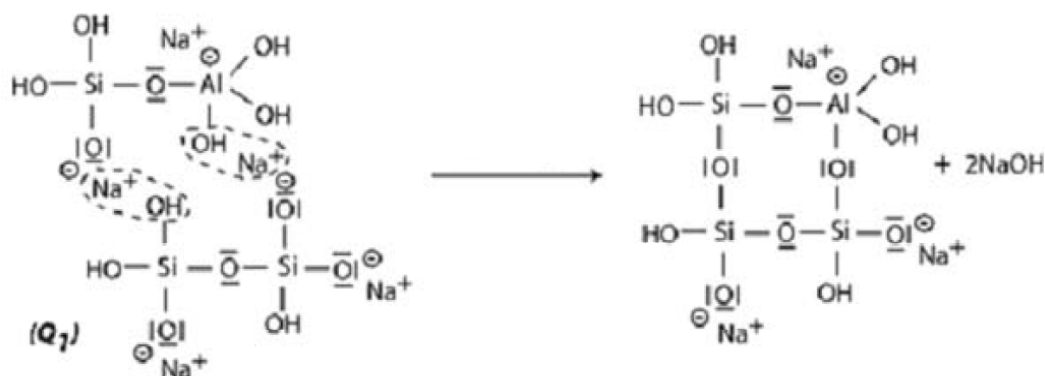
4. The formation of Si-OH silane groups continues, orthosilates are formed, which become the primary nuclei of geopolymers:



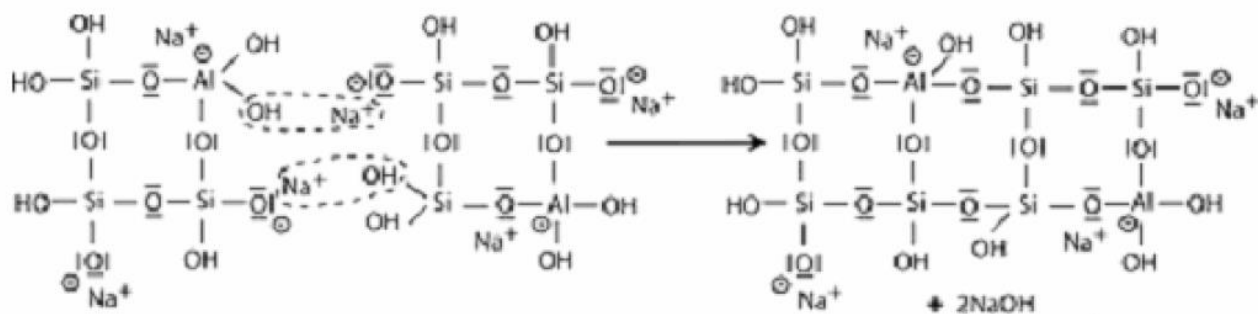
5. Basic compounds -Si-O- interact with sodium cations  $\text{Na}^+$ , as a result Si-O-Na bonds are formed:



6. Condensation takes place between orthosilicate molecules, reactive Si-ONa groups and OH-Al hydroaluminosilicate groups, with the production of NaOH and the formation of cyclotrisilicate structures, as a result of which NaOH alkali is released and again enters the polycondensation reaction with the formation of sodium polysilicate nepheline structures. In the presence of liquid glass (soluble Na polysilicate), an orthosilicate-disilox cyclic structure is formed, where NaOH alkali is released and reacts again:



7. Polycondensation of the albite structure continues to form typical chain structures.



Although the structuring processes of geopolymer materials have not been sufficiently studied, these materials are considered as a promising alternative to certain types of construction materials. The most significant advantage of such materials is the possibility of using multiton industrial waste, which is the basis of resource conservation.

### References

1. *Davidovits J.* Geopolymer chemistry and applications // 3rd eddition. — France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. — 614 p.
2. *Hlukhovskiy V.D.* Viazhushchye kompozytsyonnye materyaly kontaktnoho tverdeniya / V.D. Hlukhovskiy, R.F. Runova, S.E. Maksumov. - K: Vyscha shkola, 1991. - 243 s.
3. *Kostohryz K.P.*, Rozvytok tekhnolohii termichnoi obrobky dyspersnykh materialiv / Kostohryz K.P., Khvastukhin Yu.I., Orlyk V.M., Sobchenko V.V., Maksymuk O.B. // Enerhotekhnolohiy i resursoberezhennye. – 2019, № 4, s.47 – 59.
4. *Duxson P.* Geopolymer technology: the current state of the art / P. Duxson, A. Fernández-Jiménez, J. L. Provis, G. C. Lukey, A. Palomo, J.S.J. van Deventer // J. Mater. Sci.– 2007. №42 – P. 2917–2933.
5. *Sobchenko V.V.*, Shliakhy vyrishennia problemy vysoliuvannia budivelnykh materialiv z luzhnoaktyvovanoi kremnezemystoi syrovyny / Sobchenko V.V., V.A. Zhaivoronok, H.O. Sobchenko // «Resursoenerhozberihaiuchi tekhnolohii ta

**Збірник тез доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

---

обладнання»: zbirnyk tez dopovidei XXI mizhnarodnoi naukovo–praktychnoi konferentsii, (06–08 hrudnia 2021 r., Kyiv). – K.: «KPI im. Ihoria Sikorskoho», 2021. – S. 95 – 96.

*UDC 665.738*

**MODERNIZATION OF THE BENZENE PRODUCTION FACILITY  
WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR CATALYTIC  
REACTOR AND HEAT EXCHANGER**

student M. I. Mudryk, associate professor, Ph.D. Stepaniuk A.R.

**National Technical University of Ukraine**

**"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**ANNOTATION:** *The technological scheme of benzene production is considered. The advantages and disadvantages of the catalytic reactor and the heat exchanger are formulated.*

**KEYWORDS:** TECHNOLOGICAL SCHEME, BENZENE, CATALYTIC REACTOR, HEAT EXCHANGER.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА БЕНЗОЛУ З  
РОЗРОБКОЮ ТРУБЧАСТОГО КАТАЛІТИЧНОГО РЕАКТОРА ТА  
ТЕПЛООБМІННИКА**

студент Мудрик М. І., доц., к.т.н. Степанюк А.Р.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ:** *Розглянуто технологічну схему виробництва бензолу. Сформульовано переваги і недоліки каталітичного реактора та теплообмінника.*

---

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, БЕНЗОЛ, КАТАЛІТИЧНИЙ РЕАКТОР, ТЕПЛООБМІННИК.

Raw benzene is a product of high-temperature coking, which is a mixture of vaporous organic compounds that do not condense from gas with resin. The main components of "raw benzene" are mononuclear aromatic compounds - benzene (up to 70%) and its methylated homologues: toluene (8-20%) and xylenes (2-5%). Benzene is a component of gasoline, is widely used in industry, and is a raw material for the production of medicines, various plastics, synthetic rubber, and dyes [1]. Therefore, the modernization of the raw benzene production facility is an urgent topic.

Figure 1 shows the technological scheme for obtaining crude benzene [2]. Absorbent oil saturated with benzene hydrocarbons is fed to the dephlegmator 1, where it is heated by the steam coming from the distillation column 2.

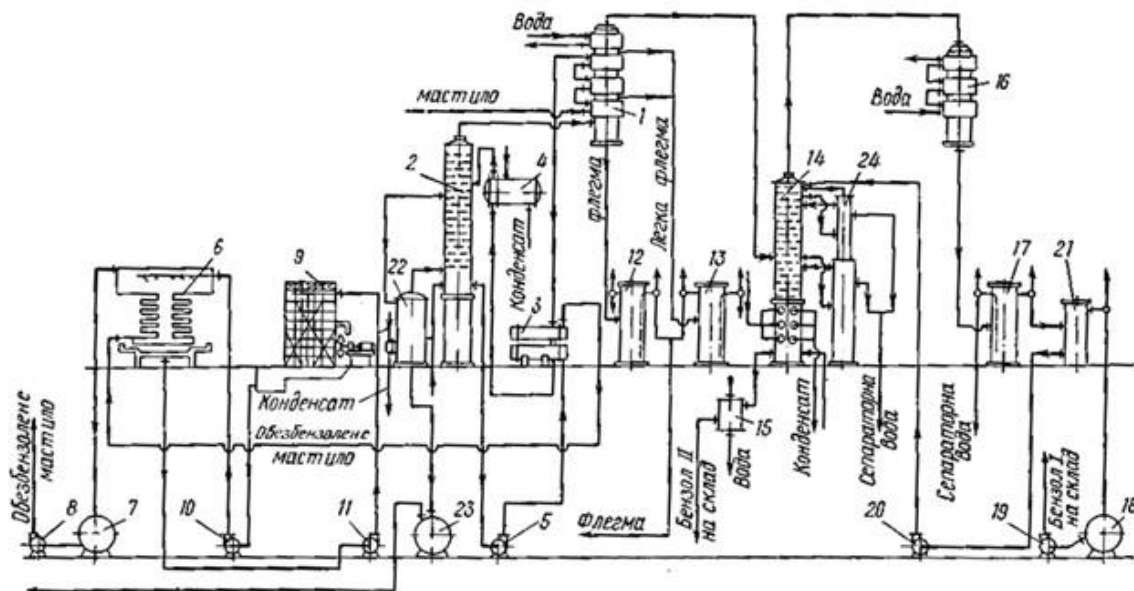
After the dephlegmator, the lubricant enters the heat exchanger 3, where it is heated by the lubricant flowing from the column and further heated by steam in the steam heater

4. From the steam heater, the lubricant enters the distillation column 2, in which benzene hydrocarbons are driven off. From the lower part of the column, the lubricant is pumped into the heat exchanger 3, where it cools.

Vapors of benzene hydrocarbons, lubricants and water from distillation column 2 enter the intertube space of dephlegmator 1. The phlegm obtained in the dephlegmator enters separators 12 and 13.

After the dephlegmator, the vapors of crude benzene and water are sent to the separation column 14, in which the vapors of benzene hydrocarbons are separated into two fractions of crude benzene: light benzene and heavy benzene. Vapors from dephlegmator 1 flow to the bottom of the rectification

part of the column and, passing from the bottom to the top, are enriched with low-boiling components.



- 1, 16 – dephlegmator; 2 – distillation column; 3 – heat exchanger; 4 – steam heater; 5, 8, 10, 11, - pump; 6 – irrigation cooler; 7, 18, 23 – collection; 9 – capacitor; 12, 13, 17, 21 – separator; 14 – evaporation column; 15 – refrigerator; 22 – evaporator; 24 is an additional column.

Drawing. 1 - Technological scheme for obtaining raw benzene

Vapors from the upper part of the column enter the condenser 16, where condensation and cooling of light benzene takes place. Part of the light benzene is supplied to the upper plate of the separation column 14, the rest enters the collector 18.

Heaters for heating heavy benzene are installed in the evaporating part of column 14. From this part of the column, heavy benzene enters the refrigerator 15, from where it is transferred to the warehouse.

Advantages and disadvantages of a catalytic reactor.

Advantages of the device: continuous process, optional measuring devices, high productivity.

Disadvantages of the device: complex design of the device, high cost.

Advantages and disadvantages of the heat exchanger

Advantages of the heat exchanger: simplicity of design, large area of heat exchange, continuous process.

Disadvantages of the heat exchanger: low productivity, overall size, high cost.

The purpose of the work is to modernize the production of benzene with the development of a catalytic reactor and a heat exchanger.

***References:***

1. [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=663](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=663)from 04/14/2016
2. Korobchansky I.E., Kuznetsov M.D. Calculations of equipment for catching chemical products of coking. 2nd edition. - Moscow: Metallurgy, 1972. - 296 p.

UDK 66.02.011

**MODELING OF KINEMATICS MIXING OF POLYMER MELTS IN  
THE HOMOGENIZATION ZONE OF DISK EXTRUDER**

student Trachuk Y. V., graduate student Novodvorskyi V. V.,

Ph.D., associate professor Shved M.P.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**ABSTRACT:** At present, methods of modeling and calculations of disc extruders are not developed enough. The difficulties in describing the processes occurring in this type of apparatus are explained by the necessity of taking into account the viscoelastic properties of processed materials. It is mathematical models which allow to choose effective modes of operation of the disc extruder and to improve energy efficiency of the equipment. Thus, research and modeling of mixing process in disc extruders is an urgent problem.

**KEY WORDS:** DISC EXTRUDER, HOMOGENIZATION, VISCOELASTIC PROPERTIES.

**АНОТАЦІЯ:** На сьогодні методи моделювання та, відповідно, розрахунки дискових екструдерів, розвинуті недостатньо. Труднощі опису процесів, що відбуваються у даному типі апаратів пояснюється необхідністю врахування в'язко-пружних властивостей перероблюваних середовищ. Саме математичні моделі, дають змогу підібрати ефективні режими роботи дискового змішувача та, відповідно, покращити енергоефективність обладнання. Таким чином, дослідження та моделювання процесу змішування у дискових екструдерах є насущною проблемою.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДИСКОВИЙ ЕКСТРУДЕР, ЗМІШУВАННЯ, В'ЯЗКО-ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ.



In the publications [1,2], using rheological equations of "plain liquid" on the Noll, were obtained expressions for calculation of the velocity profile of viscoelastic materials in the slit of the disk extrusion (fig. 1):

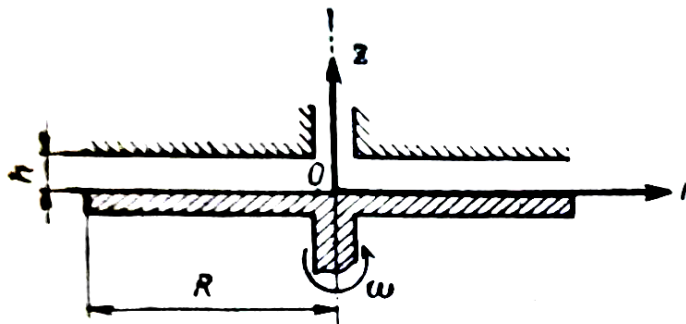


Fig.1. Coordinate system for calculation of the disk extruder

In the radial direction:

$$v_r = \frac{3Q}{\pi h^3 r} z(h - z)$$

In tangential direction:

$$v_\phi = \omega r \left\{ 1 - (z/h)^b \exp[-c(1 - z/h)] \right\}$$

here  $b = 1 - 5,3 \cdot 10^{-2} \left(\frac{r}{R}\right)^{-1,5} \psi$ ;  $c = 6,4 \cdot 10^{-2} \left(\frac{r}{R}\right)^{-1,5} \psi$ ;

$$\psi = \left(\frac{Re_{Mr}}{\Gamma_1^2 Eu_r}\right)^{1,5} \frac{1}{mn^{2,7}}; Re_{Mr} = \frac{\rho h^n \omega^{2-n}}{\mu m};$$

$$\Gamma_1 = \frac{R}{r} \gg 1; Eu_r = \frac{\rho \omega^n h^{2-n}}{A};$$

Here  $\bar{Q}$  — productivity;  $\bar{h}$  — width of slot;  $\bar{R}$  — radius of the rotary disc;  $\bar{\omega}$  — angle speed;  $\bar{n}$  — melt index;  $\bar{A}$  i  $\bar{m}$  — rheological parameters, which are determined experimentally.

The influence of viscoelastic properties of the melt, i.e. the influence of normal stresses on the profile of the tangential component of velocity, was analyzed numerically, whereas its role in the development of the total shearing force in the slot is much larger than the radial component, which determines the productivity of disk extruder.

In fig. 2 the dependence of the tangential component of the dimensionless speed, from the dimensionless radius  $\overline{r^*}$  is shown.

$$\overline{v_\varphi^*} = \omega^* r^* (1 - z^*),$$

here  $\omega^* = \frac{\omega R}{w}$ ,  $w = \frac{3Q}{\pi h^2}$ ,  $r^* = \frac{r}{h}$ ,  $z^* = \frac{z}{h} \overline{r^*}$ ,

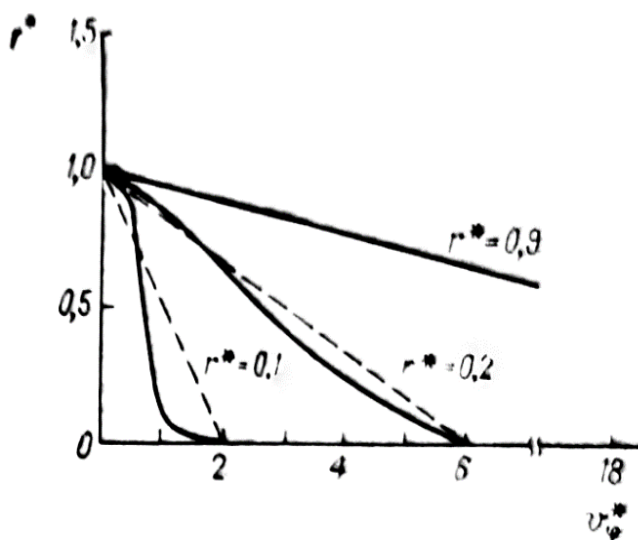


Fig. 2. The dependence of the tangential component of the dimensionless speed, from the dimensionless radius  $\overline{r^*}$  ( $\varphi = 1,54$ ).

In fig. 3 the dependence from the size of the complex  $\overline{\psi}$ , which characterizes the connection between viscosity and elastic properties of polymers was shown. As is seen from the figures, at a certain value profile have a significant non-linear, decreasing with the increase of  $\overline{r^*}$  and at  $\overline{r^*} = 0,3$  it practically disappears. Nonlinearity increases with increasing elastic forces and with decreasing viscosity forces operating in the system.

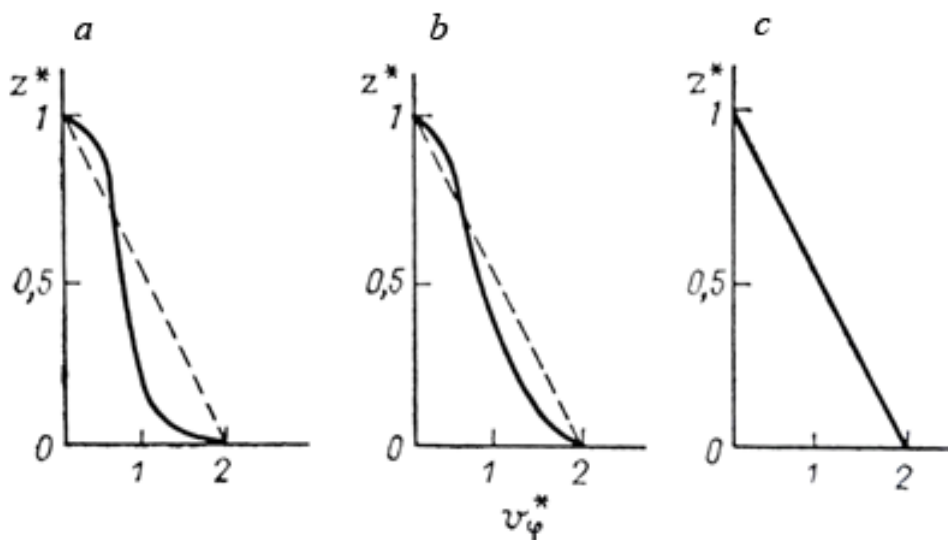


Fig. 3. Dependence of tangential component of speed on complex

$$\overline{\varphi(r^* = 0,1):}$$

$$\overline{a - \varphi = 1,54; b - \varphi = 0,515; c - \varphi = 0,02.}$$

The total deformation of the shear in the system is determined by the ratio

$$\overline{\gamma_{\text{сумм}} = \int_0^t \left| \frac{\partial v_r}{\partial t} \right| dt + \int_0^t \left| \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} \right| dt} \quad (1)$$

For the speed of deformation, the following equations are fair:

$$\overline{\frac{\partial v_r}{\partial z} = \frac{3Q}{\pi h^3 r} z(h - 2z)}$$

$$\overline{\frac{\partial v_\varphi}{\partial t} = \omega r \left(\frac{z}{h}\right)^b \left(\frac{b}{z} + \frac{c}{h}\right) \exp\left[-c\left(1 - \frac{z}{h}\right)\right]}$$

On the other hand, the speed components in the cylindrical coordinates can be represented as

$$\left\{ \begin{array}{l} v_r = \frac{-\partial r}{\partial t} \\ v_\varphi = \frac{r \partial \varphi}{\partial t} \end{array} \right. \quad (2)$$

In equal (1) all variables are functions of the current radius, although integral extended along time, therefore it is necessary to establish the dependence of coordinates of material particles from time spent in the zone of deformation. This allows us to record the first equation of the system (2) as:

$$v_r = -\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{3Q}{\pi h^3 r} z(h-z) \quad (3)$$

Integrating equations (3) between  $\overline{0}$  to  $\overline{t}$  and  $\overline{R}$  to  $\overline{r}$ , we get:

$$\overline{r} = \sqrt{R^2 - \frac{6Qz(h-z)}{\pi h^3} \overline{t}} \quad (4)$$

The total time of the material in the working area of the disc decoder can be found under condition  $\overline{t} = \overline{t}$  at  $\overline{r} = \overline{0}$ , which, considering dependence (4), gives

$$\overline{t} = \frac{\pi h^3 R^2}{6Qz(h-z)} \quad (5)$$

Equations (4) from (5) can be presented in the form

$$\overline{r} = R\sqrt{1 - \overline{t}/\overline{t}} \quad (6)$$

After integration of the equalization (1) from zero to the average time of the material stay in the working zone, taking into account the dependencies for the deformation speed and (6), we obtain the formula to determine the cumulative deformation in the slot of disc extruder relative to the material volume.

$$\overline{\gamma}_{summ} = \frac{1,02K_\psi \pi R^2 h \omega + 6,57Q}{\pi R h^3 Q}$$

It should be noted that the nonlinear profile of the tangential component of velocity has a minor role in calculating the deformation of the displacement. Therefore, linear approximation can be used to calculate deformation. The resulting error is taken into account by the  $\overline{K_\psi}$  coefficient, which characterizes the effect of the nonlinear profile of the tangential component. As the calculations showed, for the linear profile  $\overline{(\psi = 0) K_\psi} = 1$ , and for  $\overline{(\psi = 3) K_\psi} = 1,1$ . Between these values, the ratio is linear. There is a correlation between the deformation of the shift, which is transferred to the material in the working gap of the disk encoder and the criteria of the quality of the static mixing (Fig. 4) [1, 2, 3].

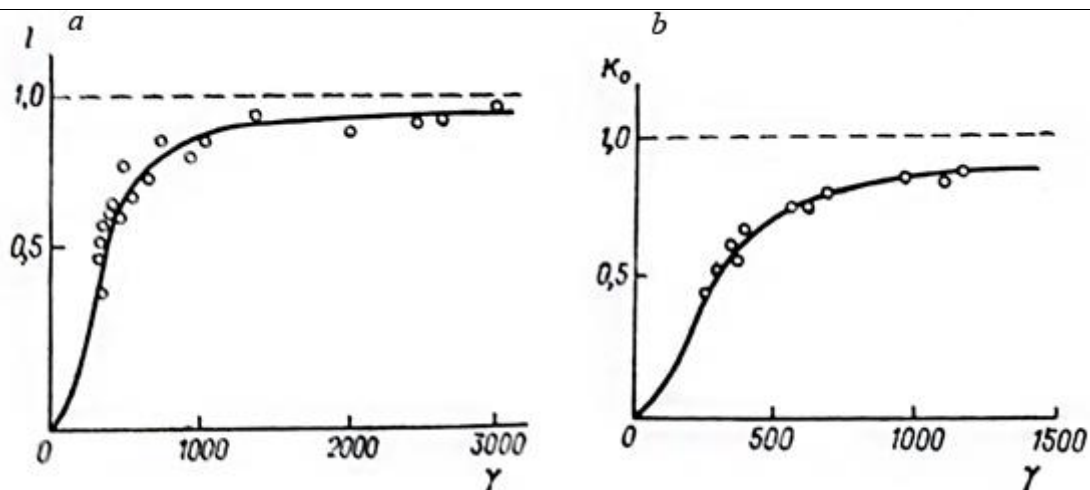


Fig. 4. Dependents of  $\overline{I}$ (a) and  $\overline{K_0}$ (b) on the deformation of the slip.

Statistical criteria for the assessment of homogeneity are widely spread, but it is advisable to use parameters that allow to analyze the state of the mixture directly in the process of work of the extruder, using parameters from which the process of mixing depends significantly.

The authors conducted preliminary studies, which provided statistical assessment of mixing efficiency from the intensity of the imparted energy by the classical methods of sampling of cold samples of polymer. At the same time, under the same conditions, the temperature field of the channel melt was scanned with the help of the multi-point grid thermocouple, which was installed at the exit of the disc extruder. Similar statistical estimation of mixing efficiency from the intensity of the imparted energy on inhomogeneous temperature field and their comparative characteristics (fig. 5), showed that the discrepancy in the estimation of the effectiveness of mixing by the two methods above does not exceed 8%. Therefore, the method of estimation of homogenization of melt on inhomogeneous temperature field can be used in industry at designing, modernization or operation of polymeric processing equipment.

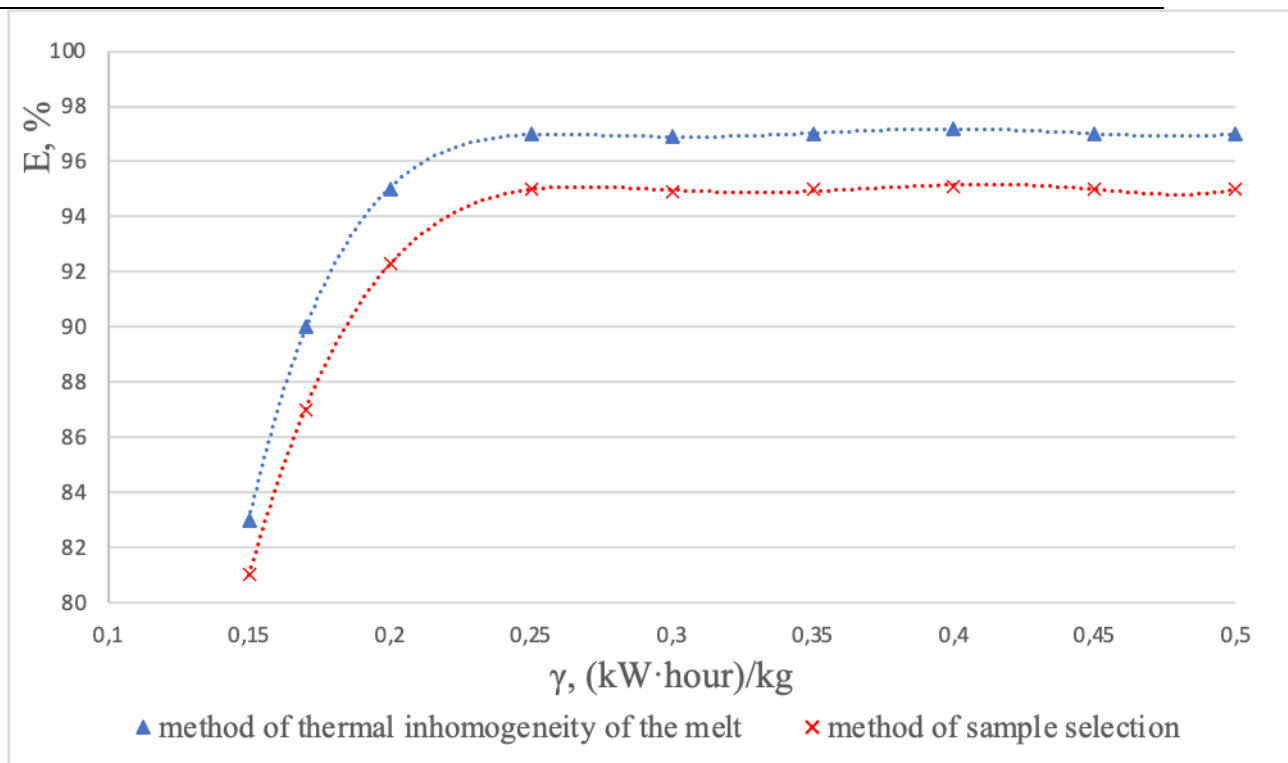


Fig. 5. – Dependence of mixing efficiency on intensity at the level of productivity

All experimental values of static criteria are well described by one common curve, which allows to simplify calculation and modeling of this type of equipment.

Using also the dependence of the deformation on the processing parameters and the design characteristics of the equipment, it is possible to decide on their optimal values.

#### References:

1. Jerikov A. G., Reher E. O., Bogdanow W. W. – Ibid., 1976, Bd. 23, №9, S. 661.
2. Богданов В.В. и др. Смешение полимеров. Л.: Химия, 1979. – 192 с
3. Новодворський В.В., Швед М.П., Швед Д.М. - Оцінювання якості розплаву при екструзії полімерів. Хімічна інженерія 2021. №4 (20) с.9-13

---

**ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ КОЛОЇДНИХ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ В ТУНЕЛЬНІЙ СУШАРЦІ**

Д.т.н. Пазюк В.М., м.н.с. Вишневецький В.М., м.н.с. Вишневецька Т.А.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

Створення сучасного обладнання для сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів є першочерговим завданням. Для вирішення цього завдання було сконструйовано двозонну тунельну сушарку, яка складається з корпусу, вентилятора, нагрівальних елементів, 2-х візків, системи повітропроводів та пульту керування роботою зерносушарки.



а)



б)

Рис. 1. Дослідна тунельна сушарка:

а) загальний вигляд сушарки з пультом керування;

б) вигляд сушильної камери з візком.

В середині корпусу сушарки змонтовані 2 ряди нагрівальних елементів пластинчатої форми для кожної із зон сушіння. Кількість нагрівальних елементів відповідає кількості піддонів на візку і складає 20 шт., тобто

загальна їх кількість для двох візків складає 40 шт. Для направлення теплового потоку на піддони з продуктом є можливість регулювання кута нахилу нагрівальних елементів.

В сушильній камері є можливість вимірювання температури та вологості теплоносія на вході, в середині та на виході з сушильної камери. Відносна вологість та температура теплоносія в сушильній камері визначається реле контролю температури і вологості РКВТ-2/16.

Для зниження теплових втрат в сушильній установці передбачена рециркуляція теплоносія.

Для дослідження кінетики сушіння були вибрані наступні овочеві культури: картопля та гарбуз.

Картоплю очищують від шкірки, нарізають на пластинки та проводять теплову обробку бланшуванням 5 хв після чого матеріал сушиться.

Гарбуз очищають від шкірки, вибирають насіння, нарізають на пластинки і піддають сушінню.

Перед сушінням картоплі та гарбуза визначалась початкова вологість матеріалу: картопля з початковою вологістю 78%, гарбуз з початковою вологістю 88%.

Кінетика процесу сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів при температурі теплоносія 60°C представлено на рис. 2.



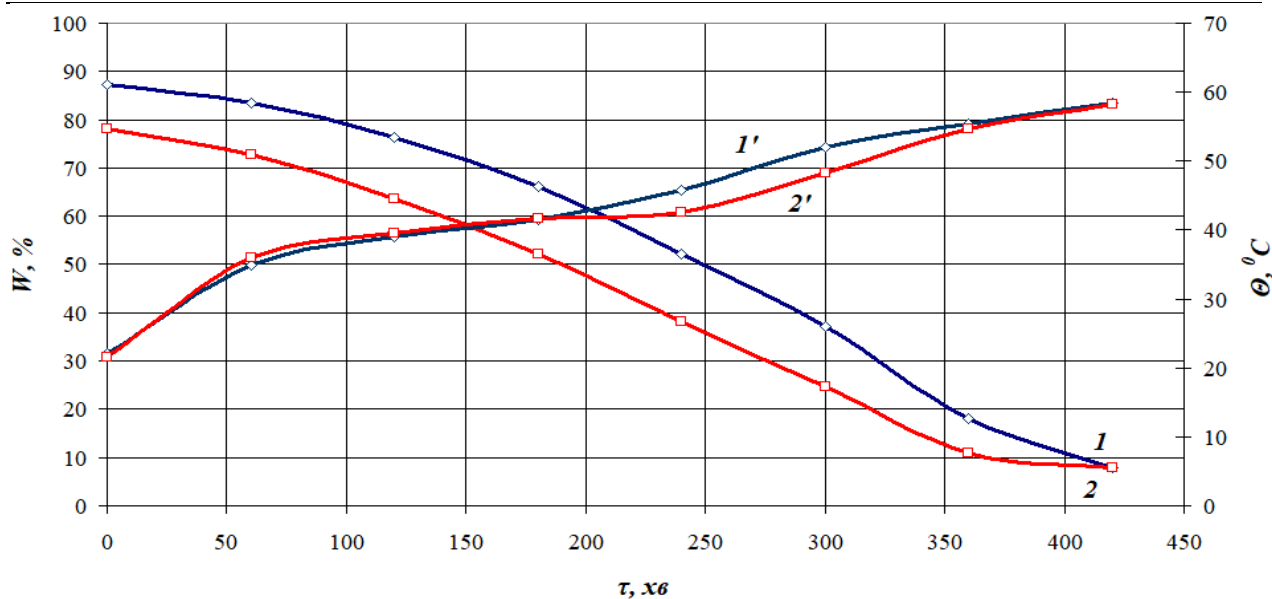


Рис. 2. Тривалість сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів при температурі теплоносія 60°C та швидкості сушіння 3 м/с:  
 1,2 – криві сушіння гарбуза та картоплі;  
 1',2' – температурні криві сушіння гарбуза та картоплі.

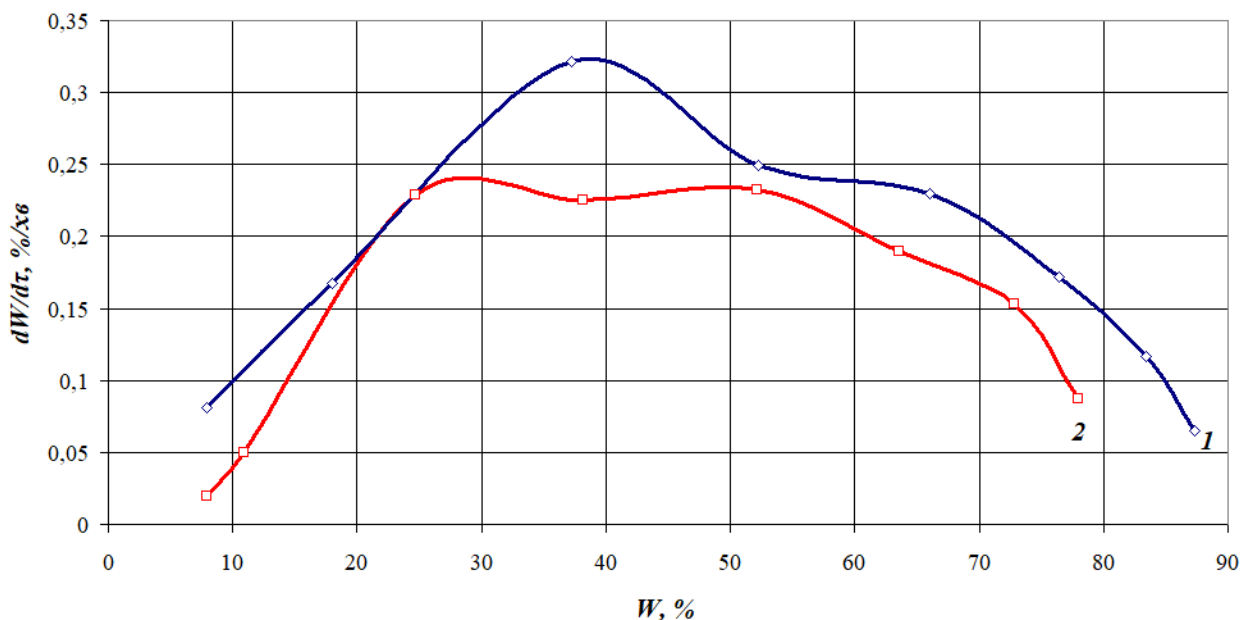


Рис. 3. Швидкість сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів при температурі теплоносія 60°C та швидкості сушіння 3 м/с :  
 1,2 – криві сушіння гарбуза та картоплі.

Тривалість сушіння гарбуза та картоплі при температурі теплоносія  $60^{\circ}\text{C}$  до кінцевої вологості 8% складають 420 хв при кінцевій температурі матеріалу  $58,2 - 58,5^{\circ}\text{C}$ .

З кривих швидкостей сушіння видно, що матеріал прогривається при сушінні гарбуза до 38% із максимальною швидкістю 0,32% з наступним зниженням швидкості сушіння. Під час сушіння картопля прогривається швидше до вологості 52% із максимальною швидкістю 0,24%, потім швидкість суттєво не змінюється до вологості 24%, а після цього йде зниження швидкості сушіння.

Виходячи з кривих швидкості сушіння картоплі та гарбуза можна зазначити, що прогривання матеріалу має довгу тривалість, що на нашу думку пов'язано із рециркуляцією теплоносія в сушильній камері.

Енергетичні показники віднесені до загального часу сушіння показують, що збільшення часу проведення досліду від 300 до 420 хв збільшують енергетичні витрати (рис. 4).

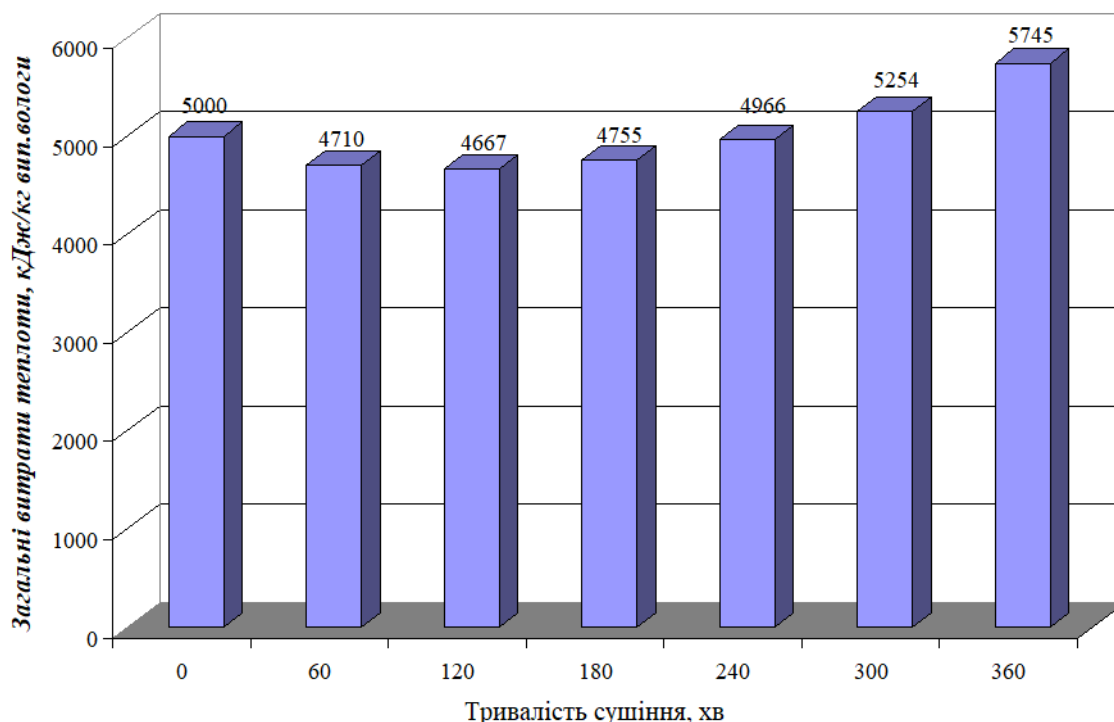


Рис. 4. Енергетичні витрати від загального часу сушіння

Загальні енергетичні витрати від тривалості сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів 420 хв складають 5745 кДж/кг випареної вологи.

Коефіцієнт корисної дії тунельної установки під час сушіння термолабільних матеріалів становить 52,4%.

**Висновки.** Ефективність тунельної сушарки при сушінні колоїдних капілярно-пористих матеріалів забезпечується за рахунок встановлення енергоефективних нагрівальних елементів.

Загальні енергетичні втрати на процес сушіння 5745 кДж/кг вип. вологи, коефіцієнт корисної дії 52,4%.

УДК 66.21

**УСТАНОВКА ВИРОБНИЦТВА АЛКИЛ-БЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ  
РЕАКТОРА-АЛКІЛАТОРА ТА ТЕПЛООБМІННИКА**

student Ihor Chernuh, associate professor, Ph.D. Andrii Stepaniuk

**National Technical University of Ukraine**

**"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**ANNOTATION:** *The technological scheme of the production of alkyl gasoline is described. Ways to modernize the alkylator reactor and heat exchanger are given.*

**KEYWORDS:** PRODUCTION, ALKYL GASOLINE, ALKYLATOR REACTOR, HEAT EXCHANGER.

**УСТАНОВКА ВИРОБНИЦТВА АЛКИЛ-БЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ  
РЕАКТОРА-АЛКІЛАТОРА ТА ТЕПЛООБМІННИКА**

студент Черниш І. С., доц., к.т.н. Степанюк А. Р.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ:** *Описано технологічну схему виробництва виробництва алкил-бензину. Наведено шляхи модернізації реактора-алкилятора та теплообмінника.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВИРОБНИЦТВО, АЛКИЛ-БЕНЗИН, РЕАКТОР-АЛКІЛАТОР, ТЕПЛООБМІННИК

Alkylate — (alkylbenzene) a mixture of saturated hydrocarbons (mainly isooctane and trimethylpentanes) with a boiling point of 40-180 °C.; a liquid with a density of 698...715 kg/m<sup>3</sup> and an octane number of at least 90. It is obtained by alkylating isobutane with technical butylenes. They are used in industry for the production of high-octane automobile gasoline [1].

The earliest industrial processes of isomerization were intended to increase the resources of isobutane, the raw material for the production of alkylate, which is a high-octane component of aviation gasoline. The first industrial installations of this type began to be built during World War II. The raw material is n-butane, which is released from the gases of oil refining. The n-butane isomerization process was of particular interest for those plants that did not have catalytic cracking units (catalytic cracking gas is rich in isobutane). The isomerization catalyst was aluminum chloride activated by NS, which was used at a mild temperature regime (90 - 120 ° C) and increased pressure in the reaction zone.

Currently, some foreign plants have n-butane isomerization units (for example, the butamer process) in order to increase raw material resources for obtaining alkylate, but they have limited distribution. A platinum-based catalyst is usually used there. The process takes place at 150-205°C, pressure 1.5-3.0 MPa, and volume velocity 3-5 h on liquid raw materials with hydrogen circulation. In the standard processing process, a catalytic system of alkylation (hydrochloric or hydrofluoric acid) under the action of lower olefins (mainly consisting of propylene and butenes) and isobutane together form an alkylate (mainly higher octane, side chain of alkanes) [1].

The leader in the production of alkyl gasoline is the USA (more than 40 million tons/year). In other countries, less than 1 million t/year of alkyl gasoline is produced, which is explained by the lack of resources of the butane-butylene fraction, which is obtained in the process of catalytic cracking [1].

In the first half of the 20th century, cracking and reforming were used to increase the octane number, which convert linear chains of normal alkanes – the main component of straight-run gasoline – into branched alkanes and aromatic compounds, respectively [1].

The main methods of production of alkylates [2]:

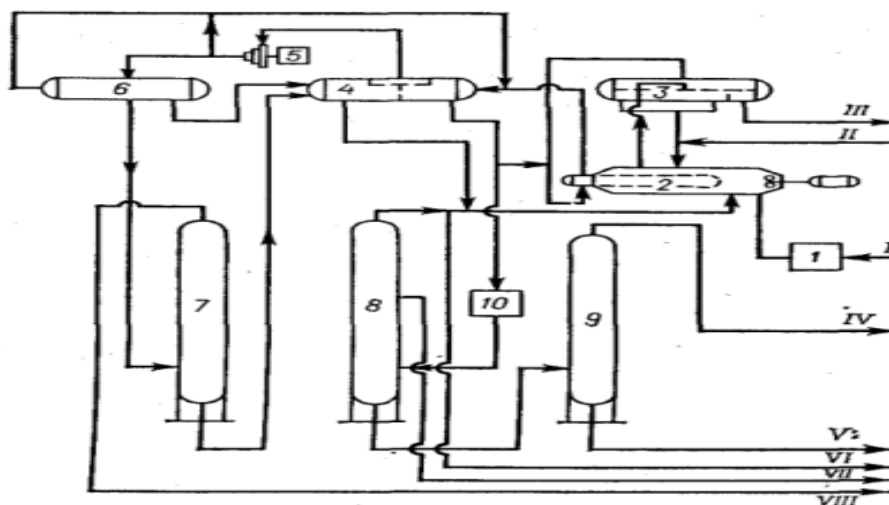
- sulfuric acid alkylation - production of high-octane components of gasoline by catalytic alkylation of isobutane, butylene and propylene in the presence of sulfuric acid;

- hydrogen fluoride alkylation - obtaining high-octane paraffinic hydrocarbons with a highly branched structure by alkylating isobutane with secondary hydrogen acid (olefins). Consider sulfuric acid alkylation.

The raw material is fed to the raw material preparation unit 1 and then fed to the alkylation contactor. From the alkylation contactor, the mixture is fed into the acid sump 3 (Figure 1). In a mixture with fresh acid, it is fed back to the alkylation contactor 2. Next, the gaseous fraction is compressed in the compressor 5 and fed into the collector 6, from which the gas condensate is fed to the butane column 7, from the upper part of which n-butane is taken. The cubic residues are returned to the separator 4. The liquid fraction from the separator 4 through the unit for purifying ethers from sulfuric acid 10 is fed to the rectification column 8. The gas fraction (butane-butylene) is returned to the alkylator 2, and n-butane is taken from the middle of the column.

The cubic residues are fed to column 9, from the top of which a light alkylate is selected. Acid-hydrocarbon ratio (1.1...1.5) to 1. Acid concentration from 88 to 99.5%. The capacity of the installation is 200-250 thousand tons per

year in terms of raw materials



[2].

1 — block of preparation of raw materials; 2 — alkylation contactor; 3 — acid sump; 4 — separator; 5 — compressor; 6 — container for gas condensate; 7,8,9 — rectification columns; 10 — a unit for cleaning alkyl products from sulfuric acid esters; I — raw material; II — fresh acid; III — spent acid per block regeneration; IV — light alkylate; V — heavy alkylate; VI — isobutane; VII — n-butane; VIII — propane.

Figure 1 – Installation of sulfuric acid alkylation

To facilitate calculations, the most significant operational quality indicators and the most massive (that is, high-tonnage), so-called basic fuel components are usually chosen. For high-octane gasoline, detonation resistance and evaporation are considered to be the most significant quality indicators, and the basic components are gasoline fractions of multi-tonnage processes of direct distillation, catalytic reforming, catalytic cracking, hydrocracking, and less often thermdestructive processes. To improve certain characteristics of a mixture of gasoline components, high-octane additive components, such as alkylates, are used [1].

Benefits. Increased efficiency of production of alkylate fractions due to modernization of the alkylator reactor and heat exchanger. Sulfuric acid is

essentially non-volatile, and therefore sulfuric acid alkylation is a safer way to produce the alkylate.

Disadvantages. Acid cannot be purified by distillation. More precisely, the "spent" acid, as a rule, must be transported in a railway car for remote processing. Thus, there is a high cost associated with off-site regeneration

The alkylation reaction takes place under the condition that the strength of the acid is high enough to catalyze the interaction of isobutane with olefins, the effectiveness of the acid decreases when its strength decreases below a certain level caused by the accumulation of ASO and H<sub>2</sub>O - usually about 88%-90%. Thus, the economics of SA alkylation depend on a precise understanding of the point at which SA becomes too weak and must be removed from the operation.

## **References**

1. Handbook of chemists (2021) . "Production of alkylates by the method of sulfuric acid alkylation":<https://chem21.info/page/218175109183060073164234115042144178008151250250/>, from 20.11.2022

2. Processes and equipment of chemical technology-1. Thermal processes: instructions for performing calculation work [Electronic resource]: training manual for students specialty 133 Industrial mechanical engineering, specialization "Engineering and computer-integrated technologies of designing innovative industrial equipment" / KPI named after Igor Sikorskyi; comp.: M.P. Shved, A.R. Stepaniuk, D.M. Swedish - Electronic text data (1 file: 3.71 MB). – Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi, 2022. – 266 p.[https://ci.kpi.ua/METODA/Innovatsini\\_tekhnolohii\\_hlybokoi\\_pererobky\\_orhanichnykh\\_material-konspekt\\_lektsii.pdf](https://ci.kpi.ua/METODA/Innovatsini_tekhnolohii_hlybokoi_pererobky_orhanichnykh_material-konspekt_lektsii.pdf), from 20.11.2022



УДК 621

## ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ТА МІСЬКИХ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ В ЯКОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

к.т.н. Чмель В.М., Новікова І.П.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

*Анотація.* Наведені паливні характеристики деяких видів біомаси та міських твердих відходів та показана можливість їх використання в якості альтернативного палива.

*Ключові слова:* біомаса, міські тверді відходи, горіння, самозаймання.

## USE OF BIOMASS AND URBAN SOLID WASTE AS ALTERNATIVE FUELS

Ph.D. Chmel V., Novikova I.

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

*Abstract.* The fuel characteristics of some types of biomasses and urban solid waste are presented and the possibility of their use as an alternative fuel is shown.

*Key words:* biomass, municipal solid waste, combustion, spontaneous combustion.

As an alternative fuel to traditional coal, oil and natural gas, which are the main components of the country's fuel and energy balance, biomass can be used, which, as is known, belongs to non-traditional sources of energy and is the fourth most common fuel, as well as municipal solid waste. which consist of human waste products [1-3].

Biomass waste that allows obtaining the largest amount of thermal energy is known: wood waste and waste from agriculture and its product processing

enterprises, such as straw of various crops, sunflower husks, grain husks, stem mass, etc.

The main component of the organic mass of wood is carbon and oxygen (Table 1) [4]. A large amount of the latter leads to the fact that the higher heat of combustion of the combustible mass does not exceed 4800 kcal/kg, and the lower heat of the working mass is much less than 3000 kcal/kg.

Table 1. Elemental composition of the organic mass of wood

C,%	H,%	O,%	N, %	Volatile substances,%
50.8	6.2	42.0	1.0	86.0

The composition of organic mass depends little on the species of trees. Its thermal decomposition begins at a temperature of about 160°C [5], which ensures a relatively low auto-ignition temperature, as well as, due to the high content of volatiles - up to 86%, long-lasting flame.

Table 2 shows the technical analysis of some solid wastes performed at the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine (IETP of NAS of Ukraine): litter + straw, litter + sunflower husks, dry granular product, peat, flax fire, sunflower husk pellets, wood pellets, straw (wheat), sunflower husks.

Table 2. Technical analysis of agro-industrial waste.

Name	Moisture, W %	Ashiness, A %	Volatile substances, V <sup>a</sup> %	Q <sup>v</sup> <sub>H</sub> , kcal/kg
Litter + straw	12.21	23.39	55.36	3250
Litter + sunflower husks	17.64	35.54	40.42	3400
Dry granular product	6.97	6.30	58.95	4500
Peat	9.45	24.57	49.76	3450
Bonfire lion	6.81	2.45	71.41	-
Pellets from sunflower husks	7.63	2.96	69.89	4038
Wood pellets	6.62	0.214	79.58	4060
Straw (wheat)	8.095	4.37	69.22	3415
Sunflower husks	9.01	2.91	68.77	3960

All of the listed solid wastes of organic origin are biomass, and, as indicated earlier, have almost the same elemental composition, similar to the elemental composition of wood.

As you can see, accordingly, they all have a large number of volatiles - almost 70-80% and a low ash content, which is characteristic of wood, as well as a heat of combustion equal to 3500 - 4500 kcal/kg. An exception to the listed agricultural waste is peat - an organic mass with a low degree of metamorphism, and dung + straw, dung + sunflower husks, which have a large number of mineral particles introduced from the outside: peat - soil, others - by adding dung.

A large number of mineral particles leads to an increase in ash content, a decrease in the number of volatiles and, accordingly, a decrease in the heat of combustion.

Urban waste is heterogeneous in its composition, therefore it is advisable to use household waste, mainly garbage, as fuel. Which consists of substances of plant and animal origin (Table 3) [1,6]: this is paper, cardboard, leftover food, shoes, etc.

**Table 3. Garbage and its composition**

Household waste	C, %	H, %	O, %	N, %	S, %	Ash, %
Newspaper	49.14	6.16	43.03	0.05	0.16	1.52
Thick wrapping paper	44.9	6.08	47.34	0	0.11	1.07
Magazines	32.91	4.95	38.55	0.07	0.09	23.43
Cardboard	43.73	5.7	44.93	0.09	0.21	5.34
Postal waste	37.87	5.41	42.74	0.17	0.09	13.72
Plant food waste	49.06	6.62	37.55	1.68	0.2	4.89
Residues of meat processing	59.59	9.47	24.65	1.02	0.19	5.08
Leather shoes	42.01	5.32	22.83	5.98	1.0	22.86
Rubber cable and soles	53.22	7.09	7.76	0.5	1.34	30.09
Garbage from dust	35.69	4.73	20.08	6.26	1.15	32.09

As can be seen, the main component of the organic mass of garbage, like all biomass, is carbon and oxygen, which quantitatively almost correspond to the composition of the organic mass of wood. The presence of sulfur and a higher content of mineral particles (ash) in some wastes, which is caused by their artificial origin during technological production processes, is excellent.

Garbage contains materials that can be used as raw materials for the production of useful products and energy, so it is sorted and raw materials are selected: metal, paper, and others. Unsorted waste residues can be used as fuel to obtain thermal energy.

When using biomass and solid urban waste as fuel, taking into account its fuel characteristics, it is necessary to apply new fuel burning technologies.

The IETP of NAS of Ukraine has created a two-stage layer-flare method of burning finely fractionated solid fuel: combustion in a direct-flow layer and afterburning of the gas phase and carry-out - finely dispersed particles of fuel and coke residue, which have a self-ignition temperature, in the flow of jets of the oxidizer - air in the self-ignition mode.

Its use, as shown by experiments conducted at the IETP of NAS of Ukraine, made it possible to burn polyfractionated solid fuel effectively.



Fig. 1. Direct-flow (clamped) layer burner device with a two-stage fuel combustion process



Fig. 2. The burner device is a vortex two-stage burner device

A two-stage combustion process was created for the burning of solid fuel - small-fraction biomass and liquid fuel in the vortical flows of the oxidizer in the self-ignition mode, which also allowed for efficient burning fuel.

On their basis, highly forced burner devices were built: a direct-flow (clamped) layer with a two-stage fuel combustion process (Fig. 1) and a vortex two-stage burner device (Fig. 2).

**Conclusions.** The fuel characteristics of biomass and urban solid waste, their burning methods and the burner devices built on their basis allow them to be used as fuel in municipal energy.

#### **References:**

1. Chmel, V. N. (2012). Use of biomass as an alternative fuel. *Alternative energy and ecology*, No. 08 (112), 60 - 65. (in Rus)
2. Gulyaev, N.F. (1973). Removal, neutralization and processing of household waste. Stroyizdat. (in Rus)
3. Collection, removal, disposal of household waste (1971). Per. from German, Stroyizdat. (in Rus)
4. Lavrov, N.V., Shurygin, D.P. (1972). Introduction to the theory of combustion and fuel gasification. Energy. (in Rus)
5. Knorre, G.F., Arefiev, K.M., Bloch, A.G. etc. (1966). Theory of furnace processes. Moscow-Leningrad, Energy. (in Rus)
6. Chmel, V.M., Novikova, I.P. (2006). Study of the fuel characteristics of biomass waste. *Renewable energy*, No. 4(7), 107-113.

UDC 66.081.63

## THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF BARIUM CHLORIDE REMOVAL BY REVERSE OSMOSIS

student Yasenjuk V.V., associate professor, Ph.D. Hulienko S.V.

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

**Анотація:** В даній роботі розказано про користь і використання хлориду барію і загальний метод виготовлення речовини. Описано та наведено технологічну схему. Розібрано роль зворотного осмосу в даній схемі і пояснено доцільність її вдосконалення. Описані та проаналізовані результати, які отримані під час виконання дослідів.

**Ключові слова:** Хлорид барій, зворотній осмос, отрута, технологічна схема, випарний апарат.

**Abstract:** This paper discusses the benefits and uses of barium chloride and the general method of manufacturing the substance. The technological scheme is described and given. The role of reverse osmosis in this scheme is analyzed and the expediency of its improvement is explained. The results obtained during the researchers performance are described and analyzed.

**Key words:** Barium chloride, reverse osmosis, poison, technological scheme, evaporator.

Barium chloride is a solid chemical compound having the formula  $\text{BaCl}_2$  (if in powdered, or anhydrous, form) or  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (if in crystalline form)[1]. It has high solubility which increased with temperature increasing. During the heating above  $133^\circ\text{C}$  the Barium Chloride loss the crystalline water and transform into white powder. The anhydrous  $\text{BaCl}_2$  has the density  $3.86 \text{ g/cm}^3$  and melt under  $962^\circ\text{C}$  [2].

The Barium Chloride has the wide range of industrial applications. It is most often used in agriculture as poison for the pests. In chemical industry it is used in the production of the reactive preparates, dyes and pigments. In metallurgy it is used for thermal treatment of products namely for hardening of the high-speed steel. Crystalline barium chloride ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) is used primarily as an intermediate in the production of molecular catalyst sieves, which in turn are used in oil refinery complexes to separate out industrially useful paraxylene molecules from other mixed xylenes [1].

For the Barium Chloride obtaining the Chlorine-Calcium technique is most widely used. The technological scheme of this technique includes the concentration stage with using of the vacuum evaporators [3]. This leads to high energy requirement which is significant disadvantage [4]. With aim to decrease the operative costs the possibility of the reverse osmosis was considered since this technique has much lower energy consumption.

In current work the set of experiments was carried out for evaluate of the effectivity the separation of the Barium Chloride solution by reverse osmosis. The results are represented on the figures 1 and 2.

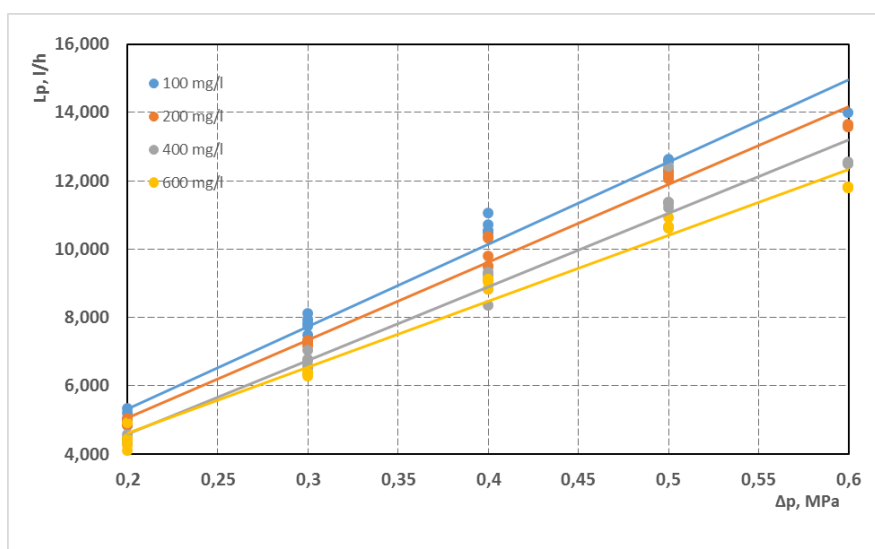


Figure 1. – The transmembrane flux vs. applied pressure

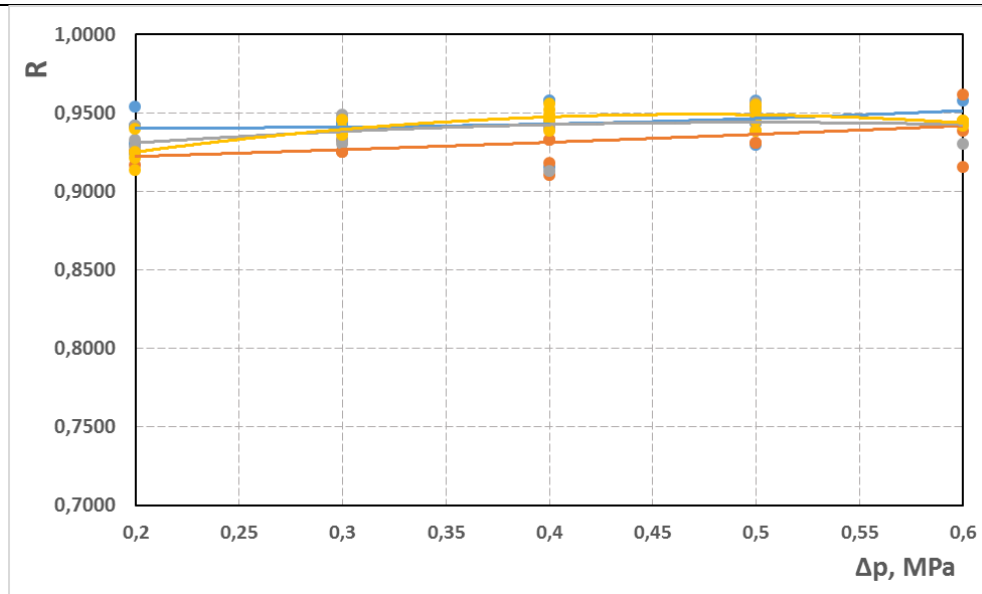


Figure 2. – The rejection rate vs applied pressure

The experiments were carried out for the range of the applied pressure from 0.2 to 0.6 MPa and in the range concentration from 100 mg/l to 600 mg/l. It can be seen from the figure 2, that the rejection coefficients were 0.9-0.95 for all cases. These results suggest that reverse osmosis has the satisfied level of selectivity. The transmembrane flux varied from 4 l/s to 14 l/s which correspond to the normal values of the fluxes for these types of membranes. These results allow to conclude that the reverse osmosis is suitable technique for Barium Chloride preconcentration before the vacuum evaporators.

#### References:

1. Barium Chloride from China Investigation No. 731-TA-149 (Third Review)
2. Рабинович В.А., Хавин З.Я. "Краткий химический справочник" Л.: [Химия](#), 1977 стр. 392
3. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрение, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот), ч.1, изд. 4-е, испр. Л.: Химия, 1974. 992 с.



4. GOKARN, A. N., GAIKWAD, A. G., PHALAK, C. A., & BHANDARI, V. M. (1999). Studies in the Reaction–Separation Method for the Preparation of Barium Chloride from Barite Using Ion Exchange. Separation Science and Technology

УДК 630

**OPTIMIZATION OF LOGISTIC SOLUTIONS IN THE ORGANIZATION OF ENERGY USE OF SMALL-DIAMETER WOOD - THE MAIN FACTOR OF ECONOMIC EFFICIENCY**

Ph.D. Belyaeva I., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V.,

Dr. Sc. Timoshchenko A., Shpilberg L.

**Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine**

*ABSTRACT.* The research was devoted to solving the optimization of logistical problems in the organization of energy use of small-diameter wood - the main factor of economic efficiency.

**KEYWORDS:** FORESTRY, ENERGY, FUEL WOOD CHIPS, LOGISTIC.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИНИ МАЛОГО ДІАМЕТРУ – ОСНОВНИЙ ЧИННИК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

к. т. н. Беляєва І.П., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г.,

д. т. н. Тимошенко А.В., Шпільберг Л.Ю.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

*АНОТАЦІЯ.* Проведено дослідження присвячені вирішенню оптимізації логістичних проблем при організації енергетичного використання деревини малого діаметру – основного чинника економічної ефективності.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЛІСІВНИЦТВО, ЕНЕРГЕТИКА, ПАЛИВНА ТРИСКА, ЛОГІСТИКА.

**The purpose.** The paper is devoted to solving logistical problems that hinder the creation of a sustainable system of energy use of forestry waste in Ukraine.

**Results.** It is these problems that are of key importance, at least at the initial stage of cooperation between forestry and thermal power engineering.

The components of the solution to the specific problems include.

If wood fuel is produced in the form of dried fuel chips, its volume in storage meters is ~ 20 times larger than the volume of coal (under the condition of the same thermal energy potential, taking into account the calorific value and density of both types of fuel). If you produce wood fuel in the form of pellets, this ratio decreases to 7 times. However, the economic results of using pellets are significantly worse than when using wood chips. This is explained by significant expenditures on electricity and frequent replacement of fast-wearing units of technological equipment used in the production of pellets.

Therefore, wood chips are the most economical wood fuel, and when using it, the main components of costs are the storage and transportation of large volumes of fuel resources, that is, logistics.

The components of the solution to the specified problem include:

- determination of heat generating facilities located within a radius of up to 10, 20 and 30 km and, accordingly, assigning them to 3 categories of economic feasibility of cooperation; objects at a distance of more than 30 km are proposed not to be considered for participation in the project;

- conducting an application campaign on the need for fuel chips from these heat generating facilities quarterly during the calendar year;

- design and technical decisions on the organization of storage of fuel raw materials on the territory of forestry enterprises should be based on the modular principle, and the relevant modules should be explored on a real scale.

Such researches were carried out within the limits of departmental topics. The expediency of using different alternative storage methods is explained as follows:

- storage of solid wood in separate piles is possible, taking into account fire safety requirements, only in areas of final felling, where there is free space and requires the return of personnel (subsequently) to these areas for the removal of wood. The advantages of this method include the absence of the need to allocate a special area for storage.

- storage of wood in a whole form in elongated stacks in a specially designated area is considered fireproof and quite promising. The disadvantages of this method are additional operations for the formation of stacks.

Storage in crushed form is considered the most technologically advanced, but also the most dangerous in terms of spontaneous combustion.

The received data and the offered recommendations concerning possibilities of long-term storage of wood in the specified ways [1].

### **Conclusions.**

All tested alternative methods of long-term storage and pre-drying of illiquid wood should be considered suitable for practical use in forestries, and the feasibility of using one or another method depends on the specific type of felling (forest care, sanitary felling, main use).

### **References.**

1. Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Шпільберг Л.Ю., Жуков К.Л., Корбут Н.С. Спосіб довготривалого зберігання вологої паливної тріски з тонкоміру деревини. Патент України на корисну модель. F26B 9/00 C10L 5/00 C10L 5/40. №142712, заявл. 11.12.2019; опубл. 25.06.2020, бюл. № 12.

УДК 637.147.2

## MILK PROTEIN AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION

Ph.D., professor Marchevskiy V., master student Glibovets S.,  
master student Shashkov V.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***Abstract.** The information on milk protein and its important role as a food product is analyzed. The main equipment, problematic processes and line operation are considered.*

**Ключові слова:** DRYER, IMPROVEMENT, DRYING, FLOWING LAYER, CASEIN.

## МОЛОЧНИЙ БЛОК ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА

к.т.н., професор Марчевський В.М., магістрант Шашков В.О., магістрантка  
Глибовець С.В.,

**Національний Технічний Університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

***Анотація.** Проведено аналіз інформації стосовно молочного білка та його важлива роль як продукт харчування. Розглянуто основне обладнання, проблемні процеси та роботу лінії.*

**Ключові слова:** CASEIN, MILK PROTEIN, LINE, PRODUCTION.

Milk protein is the most important and complex structure-forming component of mammalian milk [1]. It can be divided into two main groups: whey protein, which has a high level of water solubility and casein, which is insoluble in water.

Casein makes up approximately 80% of the protein in milk [2, 3]. Milk casein, when included in the diet in the form of products such as cottage cheese and hard cheese, performs structural functions in the body, being a source of calcium, phosphorus, magnesium, a number of physiologically active peptides that

regulate the digestive process (gastric secretion), in addition to lowering blood pressure.

Whey protein is only 20% of milk proteins. It is characterized by the presence of branched chain amino acids such as leucine, valine and isoleucine. According to scientists, this type of protein can reduce blood pressure, stress levels, and improve mood. In addition, this substance helps to increase muscle mass. That is why whey protein is especially popular among bodybuilders and athletes.

In industry, casein is produced in two main ways - by precipitation with inorganic or organic acids or coagulation with rennet enzymes. The resulting product, casein, is a protein concentrate. Fat, whey proteins, lactose and mineral salts impair the quality of the final product and must be removed by washing.

All the above requirements are fulfilled in the diploma project of the modernized line. The OKL-3 line, developed in the KPI in the nineties, was chosen as an analogue. The departmental commission recommended the line for serial production. Serial production of the line was carried out by the Dnepropetrovsk Mechanical Plant.

OKL-3 line has proven itself well in production, but years, work, replacement of components and changes in the market require modernization of the line.

The main disadvantages of the analogue include the design of the holder and stirrer. The main element of the holder is the chamber where the process of casein deposition, formation of protein grains and their strengthening, is made of polyethylene, which does not withstand sterilization temperatures above 100°C. In addition, it is impossible to observe the structure of the moving suspension visually.

An important role in the operation of the line is played by agitators, in which salts of calcium, magnesium, phosphorus and other metals are washed out of

casein by countercurrent. The design of the agitator should prevent gluing and floating of casein grains. Other elements of the line with new components and materials can work for the production of food casein.

On the precipitator quality line, whey can be used (lactic acid) and hydrochloric acid.

During the operation of the modernized line the following processes: preparation of working solutions; mixing of acids with skim milk; heating of the mixture; protein precipitation; aging and strengthening of protein grains; whey separation; countercurrent washing and fixation of protein grains with acidified water; protein transfer at the stage of pressing and drying.

Design capacity of the dry casein line is 250 kg/h.

**References:**

1. Производство казеина: основы теории и практики: Научно-практическое издание. Монография – Минск: РУП «Институт мясомолочной промышленности». Дымар О.В., Чаевский С.И., Минск, 2077. 70с.
2. Holt C, Carver JA, Ecroyd H, Thorn DC. Invited review: Casein and the casein micelle: their biological functions, structures and behavior in foods. *J Dairy Sci.* 2013 Oct; 96(10):6127-46. doi: 10.3168/jds.2013-6831. Epub 2013 Aug 16. PMID: 23958008.
3. Ricci I, Artacho R, Olalla M. Milk protein peptides with angiotensin I-converting enzyme inhibitory (ACEI) activity. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010 May; 50(5):390-402: 10.1080/10408390802304198. PMID: 20373185.

UDC 664.8.047

## DEHYDRATION OF SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS

Ph.D. Husarova O. <sup>1</sup>, academician of the NAS of Ukraine Snezhkin Yu. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

<sup>2</sup> Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

**ABSTRACT.** *The kinetic dependences of the process of convective drying of ginger and galangal roots were established. Stage drying regimes have been scientifically substantiated and developed. According to the developed modes, the drying temperature in the first stage of the process is maintained equal to 60 °C, and in the second stage - 45 °C. The established modes allow to reduce thermal costs for drying. The established modes also provide the most complete preservation of essential oils. The mathematical simulation of heat and mass transfer, phase conversions, and shrinkage was proposed. The mathematical model can be used to develop dehydration modes. The total duration of the drying process by V. Krasnikov was calculated.*

**KEYWORDS:** SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS, GINGER, GALANGAL, ESSENTIAL OILS, HEAT- AND MASSEXCHANGE, CONVECTIVE DRYING, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING.

## ЗНЕВОДНЕННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНОЇ СИРОВИНИ

к.т.н. Гусарова О.В. <sup>1</sup>, академік НАН України Снежкін Ю.Ф. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики Національної Академії Наук України

**АНОТАЦІЯ.** *Встановлено кінетичні закономірності процесу*



*конвективного сушіння коренів імбиру та калгану. Науково обґрунтовано та розроблено стадійні режими сушіння. Відповідно до розроблених режимів, температура сушіння на першій стадії процесу підтримується на рівні 60 °С, а на другий - 45 °С. Встановлені режими дозволяють зменшити теплові витрати на сушіння та забезпечити найбільш повне збереження природних компонентів вихідного матеріалу, такі як ефірні олії. Запропоновано математичну модель тепломасоперенесення, фазових перетворень та усадки, яка може бути використана для встановлення режимів зневоднення. Проведено розрахунок загальної тривалості процесу сушіння відповідно до методу Краснікова В.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПРЯНО-АРОМАТИЧНА СИРОВИНА, ІМБИР, КАЛГАН, ЕФІРНІ ОЛІЇ, ТЕПЛОМАСООБМІН, КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.

**The purpose of the work.** The work is devoted to the establishment of convective drying of spicy-aromatic plant materials in order to intensify the process of dehydration and development of energy efficient regimes.

**Tasks of work:**

- establish the kinetic dependences of the drying process of spicy-aromatic raw materials;
- substantiate energy-efficient dehydration modes;
- explore the dynamics of the drying process based on mathematical modeling;
- calculate the moisture exchange of convective staging drying of raw materials.

**Objects, equipment and research methods.** As an object, the roots of ginger and galangal with the content of dry substances 11...13% and 9...12% respectively are used.

The study of the dependencies of the kinetics of convective drying of the roots was carried out on an experimental drying stand with an automated system for collecting and processing information. The error in temperature measurement did not exceed  $\pm 0.1$  °C, and the masses are  $\pm 0.001$  g [1].

The samples were cut into oval-shaped pieces with a thickness of  $h=3..4$  mm and dried to residual humidity  $W^c = 6\%$ .

### **Results:**

Based on the results of theoretical and experimental studies, the following results were obtained:

- the kinetic dependences of the process of convective drying of spicy-aromatic raw materials were established. The nature of the resulting curves shows that the removal of moisture with these parameters of the process takes place at a descending speed during all dehydration;

- energy-efficient stages of dehydration of ginger and galangal roots have been substantiated and developed. In accordance with the developed modes, the temperature of the drying agent at the first stage of the process is maintained at 60 °C, and in the second - 45 °C. The use of the proposed modes allows you to reduce thermal costs for drying;

- the values of the relative drying factors are calculated and the dependence is given for calculating the duration of dehydration of ginger roots. Using the resulting dependence can quantify the duration of the process in advance;

- a mathematical simulation of heat and mass transfer, phase conversions, and shrinkage when drying colloidal capillary-porous bodies was used [2]. The mathematical model allows establishing energy-efficient dehydration modes of spicy-aromatic raw materials.

### **References:**

1. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки

пектиновмісної сировини: монографія. НАН України, Ін-т техн. теплофізики.

Київ: СІК ГРУП Україна, 2018. 228 с. ISBN 978-617-7457-69-4.

2. Nikitenko N.I., Snezhkin Yu.F., Sorokovaya N.N. Mathematical simulation of heat and mass transfer, phase conversions, and shrinkage for optimization of the process of drying of thermolabile materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2005. V. 78, № 1. P. 75-89.

УДК 637.147.2

## MILK PROTEIN AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION

Ph.D., professor Marchevskiy V., master student Glibovets S.,  
master student Shashkov V.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***Abstract.** The information on milk protein and its important role as a food product is analyzed. The main equipment, problematic processes and line operation are considered.*

**Ключові слова:** DRYER, IMPROVEMENT, DRYING, FLOWING LAYER, CASEIN.

## МОЛОЧНИЙ БЛОК ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА

к.т.н., професор Марчевський В.М., магістрант Шашков В.О., магістрантка  
Глибовець С.В.,

**Національний Технічний Університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

***Анотація.** Проведено аналіз інформації стосовно молочного білка та його важлива роль як продукт харчування. Розглянуто основне обладнання, проблемні процеси та роботу лінії.*

**Ключові слова:** CASEIN, MILK PROTEIN, LINE, PRODUCTION.

Milk protein is the most important and complex structure-forming component of mammalian milk [1]. It can be divided into two main groups: whey protein, which has a high level of water solubility and casein, which is insoluble in water.

Casein makes up approximately 80% of the protein in milk [2, 3]. Milk casein, when included in the diet in the form of products such as cottage cheese and hard cheese, performs structural functions in the body, being a source of calcium, phosphorus, magnesium, a number of physiologically active peptides that

regulate the digestive process (gastric secretion), in addition to lowering blood pressure.

Whey protein is only 20% of milk proteins. It is characterized by the presence of branched chain amino acids such as leucine, valine and isoleucine. According to scientists, this type of protein can reduce blood pressure, stress levels, and improve mood. In addition, this substance helps to increase muscle mass. That is why whey protein is especially popular among bodybuilders and athletes.

In industry, casein is produced in two main ways - by precipitation with inorganic or organic acids or coagulation with rennet enzymes. The resulting product, casein, is a protein concentrate. Fat, whey proteins, lactose and mineral salts impair the quality of the final product and must be removed by washing.

All the above requirements are fulfilled in the diploma project of the modernized line. The OKL-3 line, developed in the KPI in the nineties, was chosen as an analogue. The departmental commission recommended the line for serial production. Serial production of the line was carried out by the Dnepropetrovsk Mechanical Plant.

OKL-3 line has proven itself well in production, but years, work, replacement of components and changes in the market require modernization of the line.

The main disadvantages of the analogue include the design of the holder and stirrer. The main element of the holder is the chamber where the process of casein deposition, formation of protein grains and their strengthening, is made of polyethylene, which does not withstand sterilization temperatures above 100°C. In addition, it is impossible to observe the structure of the moving suspension visually.

An important role in the operation of the line is played by agitators, in which salts of calcium, magnesium, phosphorus and other metals are washed out of

casein by countercurrent. The design of the agitator should prevent gluing and floating of casein grains. Other elements of the line with new components and materials can work for the production of food casein.

On the precipitator quality line, whey can be used (lactic acid) and hydrochloric acid.

During the operation of the modernized line the following processes: preparation of working solutions; mixing of acids with skim milk; heating of the mixture; protein precipitation; aging and strengthening of protein grains; whey separation; countercurrent washing and fixation of protein grains with acidified water; protein transfer at the stage of pressing and drying.

Design capacity of the dry casein line is 250 kg/h.

#### **References:**

1. Производство казеина: основы теории и практики: Научно-практическое издание. Монография – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Дымар О.В., Чаевский С.И., Минск, 2077. 70с.
2. Holt C, Carver JA, Ecroyd H, Thorn DC. Invited review: Casein and the casein micelle: their biological functions, structures and behavior in foods. *J Dairy Sci.* 2013 Oct; 96(10):6127-46. doi: 10.3168/jds.2013-6831. Epub 2013 Aug 16. PMID: 23958008.
3. Ricci I, Artacho R, Olalla M. Milk protein peptides with angiotensin I-converting enzyme inhibitory (ACEI) activity. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010 May; 50(5):390-402: 10.1080/10408390802304198. PMID: 20373185.

UDK 66.047.75

**PHYSICAL MODEL OF ZEOLITE DRYING PROCESS BY  
COMBINED RADIATION-CONVECTIVE FILTRATION METHOD**

PhD student Kushniruk V.M., assistant professor Novokhat O. A.

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**Abstract:** A physical model of the zeolite drying process by a combined radiation-convective filtration method is proposed. Radiation-convective filtration drying of zeolite is described. The influence of heat flows on the zeolite particles in the layer and methods of removing moisture from the zeolite are shown.

**KEY WORDS:** ZEOLITE, INFRARED RADIATION, RADIATION-CONVECTIVE DRYING, FILTER DRYING.

**ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ  
КОМБІНОВАНИМ РАДІАЦІЙНО-КОНВЕКТИВНИМ  
ФІЛЬТРАЦІЙНИМ СПОСОБОМ**

аспірант Кушнірук В. М., доцент Новохат О. А.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація:** Запропоновано фізичну модель процесу сушіння цеоліту комбінованим радіаційно-конвективним фільтраційним способом. Описано радіаційно-конвективне фільтраційне сушіння цеоліту. Показано вплив теплових потоків на частинки цеоліту в шарі та способи видалення вологи з цеоліту.

**Ключові слова:** Цеоліт, інфрачервоне випромінювання, радіаційно – конвективне сушіння, фільтраційне сушіння.

Drying of wet zeolite, in which the heat required to evaporate the liquid and heat the zeolite is transmitted mainly by radiant energy, is called radiation drying or infrared drying (IR).

Drying by thermal radiation is accompanied by drying by a stream of heated gaseous coolant. In this case, radiation-convective drying takes place [1].

One of the parameters affecting the intensity of the drying process is the increase in the area of contact between heat carriers and the material. In radiation-convective drying, infrared radiation enters the upper surface of the material. Also, for the most part, only this surface is blown with a hot gaseous coolant. To increase the area of heat exchange and maintain the driving force of heat exchange, it is advisable to mix the material to be dried and/or blow a stream of heated gaseous coolant through it. That is, to introduce the filtering component of drying.

In order to effectively implement the radiation-convective drying process in the drying equipment and to choose energy-saving process modes, it is necessary to experimentally and theoretically investigate the phenomena that occur during the removal of moisture from zeolite, study the kinetics of moisture removal, and develop a model for the mathematical description of the process.

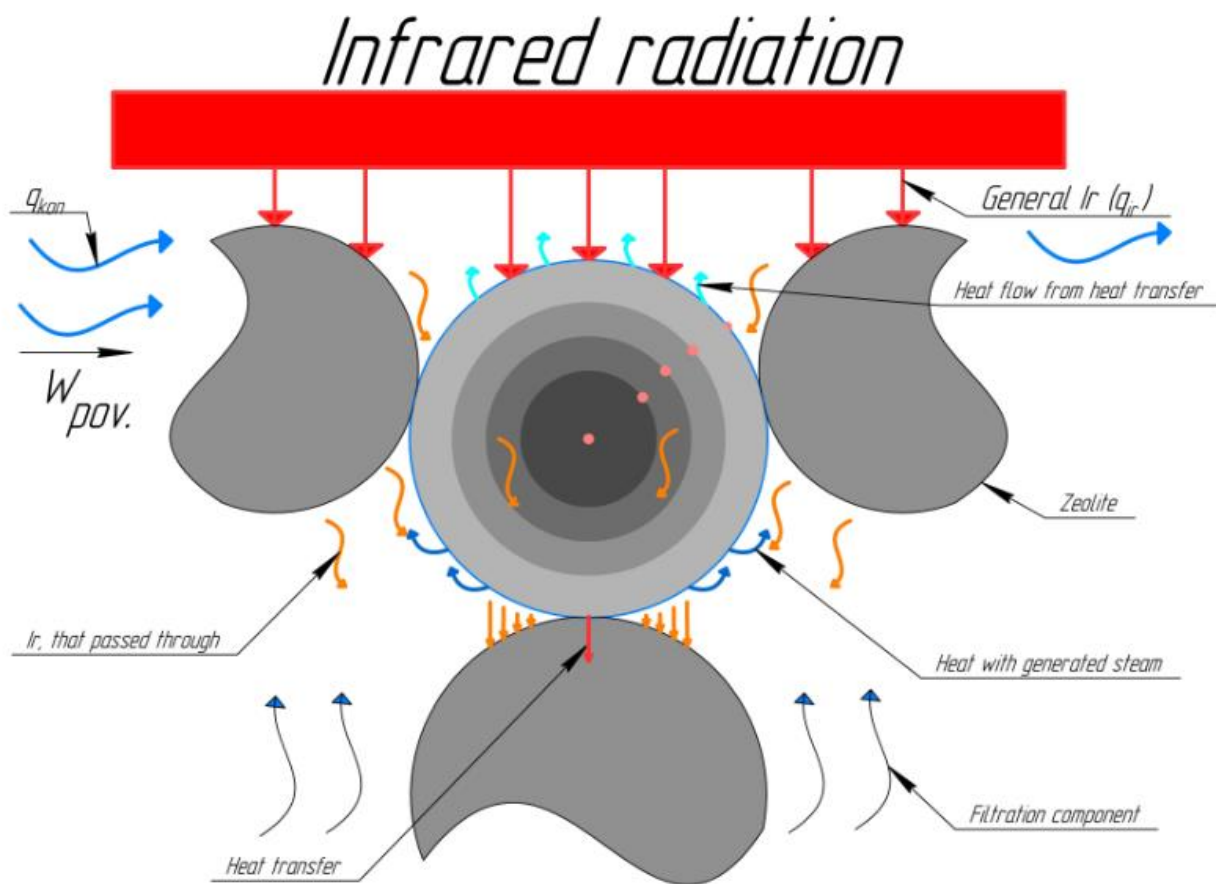
Creating a physical model of the zeolite drying process is necessary in order to be able to describe and mathematically analyze the effect of physical phenomena on zeolite particles.

The object of research is zeolite. The kinetics of dehydration depends significantly on the thickness of the material. To simplify the modeling, it is proposed to consider the zeolite particles as spherical. In the study, it is planned to study the kinetics of dehydration of zeolite particles in the form of a sphere, taking into account the shape factor, since zeolite crystals have the shape of a tetrahedron. Another assumption can be the statement that zeolite particles form a layer of continuous material with constant porosity.



According to the first approximation of the physical model, the particles of fine-grained zeolite, which are about 1-3 mm in size, are located on an infinite plane. The plane has a solid surface and is chemically inert to the material. Each particle of the upper layer is affected by infrared radiation (IR), which is absorbed by it. Part of the IR passes through the upper layers through (requires confirmation) and is absorbed by the lower layers.

The physical model of the zeolite drying process is presented in Figure 1.



$q_{ir}$  – heat introduced by an infrared emitter;  $q_{kon}$  – heat from hot air;

$W_{pov.}$  – speed of hot air.

Figure 1 – Physical model of the zeolite drying process

Heat is transferred between particles at the point of contact by thermal conduction. Heat loss occurs from surfaces by heat transfer and is carried by convection into the environment. Evaporation occurs from surfaces into the environment from above. When a hot gaseous coolant is supplied from below in the space between the parts, heat is transferred by heat transfer. In addition, thanks to the shaking of the particles, they have the ability to scroll around their axis and change the heat exchange surface.

Therefore, heat is removed from the upper surface by heat transfer according to the Newton-Richmann law. Evaporation of moisture occurs in the surface layers. Moisture diffuses from the inner layers to the surface of the material.

**References:**

1. Lykov AV Theory of drying / AV Lykov - M., Energy, 1968. - 472 p.

УДК 662.73

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ

академік УАН, д.т.н. Петрова Ж.О., аспірантка Новікова Ю.П.,  
аспірант Петров А.І.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

*Анотація.* У роботі наведена кінетика сушіння термолабільної композиційної суміші на основі мулових відкладень та торфу у різних пропорціях.

*Ключові слова:* торф, мулові відкладення, сушіння.

## STUDY OF THE DRYING KINETICS OF THERMOLABILE COMPOSITE MIXTURE

Academician of the Ukrainian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences  
Petrova Zh., graduate student Novikova Yu., graduate student Petrov A.

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine**

*Abstract.* The work presents the drying kinetics of a thermolabile composite mixture based on sludge and peat in different proportions.

*Key words:* peat, sludge, drying.

Preparation of raw materials, creation of compositions and granulation from aged sludge deposits, peat and biomass covered in our previous publications [1].

The study of the kinetics of biogranules drying on an experimental convective stand, with an automatic information collection system, after granulation on a hydraulic press carried out [2].

In fig. 1 presents the results of the study of the drying kinetics of composite granules based on sludge and peat in different ratios at a temperature of 120°C.

As can be seen from Fig. 1. the study of the influence of the composition of the compositions showed that the shortest duration of drying of biogranules in the composition of 50% sludge +50% peat (curve 3). An increase in the ratio of sludge deposits leads to an increase in the duration of drying of biogranules (curve 1), but a decrease in the ratio of sludge deposits does not always reduce the duration of drying (curve 2). The duration of drying biogranules in different proportions is between 17 and 20 minutes.

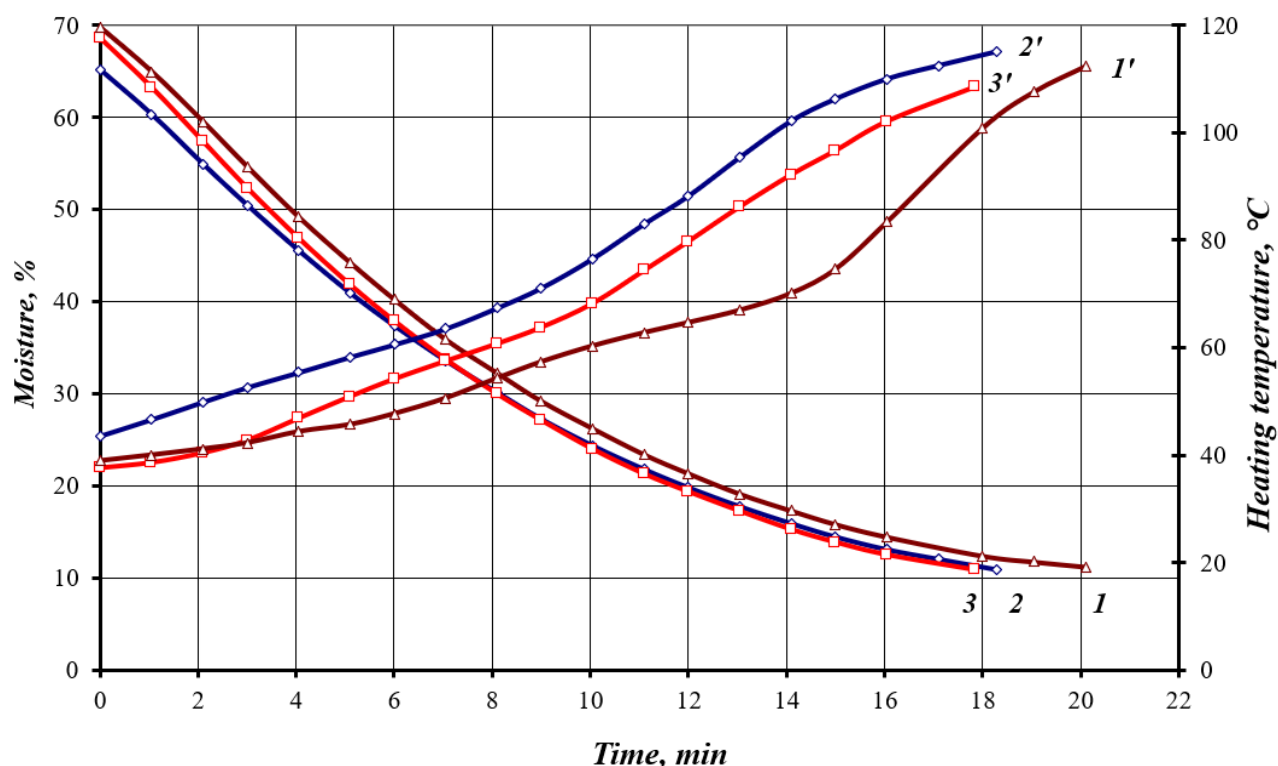


Fig. 1. Change in moisture content (1, 2, 3) and temperature inside the granules (1', 2', 3') depending on the proportion of slurry composition over time.

Mode parameters  $t = 120^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 2 \text{ m/s}$ ,  $d = 6 \text{ mm}$ :

1, 1' – 70% sludge / 30% peat; 2, 2' – 30% sludge / 70% peat;

3, 3' – 50% sludge / 50% peat

The drying pattern of granules from the 70% sludge +30% peat composition is different compared to the others (curve 4), there is a slow heating up to 12 min, after which a sharp heating up to the final temperature observed. The strongest granules after drying in the proportion of 50% sludge + 50% peat and the shortest drying time.

Studies have shown that the drying process of the composition in the ratio of 50% sludge + 50% peat is best, they have the shortest duration and the best quality.

### **References:**

1. Petrova, Z., & Novikova, Y. (2021). Preparation of raw materials, creation of compositions and granulation from obsolete sludge, peat and biomass. *Ceramics: science and life*, 1(50), 14-18.

2. Petrova, Z.A., Slobodyanyuk, E.S. (2019). Energy-Efficient Modes of Drying of Colloidal Capillary-Porous Materials. *J Eng Phys Thermophy* 92, 1231–1238.

UDC 66.081.63

**THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF BARIUM CHLORIDE  
REMOVAL BY REVERSE OSMOSIS**

student Yasenchuk V.V., associate professor, Ph.D. Hulienko S.V.

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

**Анотація:** В даній роботі розказано про користь і використання хлориду барію і загальний метод виготовлення речовини. Описано та наведено технологічну схему. Розібрано роль зворотного осмосу в даній схемі і пояснено доцільність її вдосконалення. Описані та проаналізовані результати, які отримані під час виконання дослідів.

**Ключові слова:** Хлорид барій, зворотній осмос, отрута, технологічна схема, випарний апарат.

**Abstract:** This paper discusses the benefits and uses of barium chloride and the general method of manufacturing the substance. The technological scheme is described and given. The role of reverse osmosis in this scheme is analyzed and the expediency of its improvement is explained. The results obtained during the researchers performance are described and analyzed.

**Key words:** Barium chloride, reverse osmosis, poison, technological scheme, evaporator.

Barium chloride is a solid chemical compound having the formula  $BaCl_2$  (if in powdered, or anhydrous, form) or  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  (if in crystalline form)[1]. It has high solubility which increased with temperature increasing. During the heating above  $133^\circ C$  the Barium Chloride loss the crystalline water and transform into white powder. The anhydrous  $BaCl_2$  has the density  $3.86 \text{ g/cm}^3$  and melt under  $962^\circ C$  [2].

The Barium Chloride has the wide range of industrial applications. It is most often used in agriculture as poison for the pests. In chemical industry it is used in the production of the reactive preparates, dyes and pigments. In metallurgy it is used for thermal treatment of products namely for hardening of the high-speed steel. Crystalline barium chloride ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) is used primarily as an intermediate in the production of molecular catalyst sieves, which in turn are used in oil refinery complexes to separate out industrially useful paraxylene molecules from other mixed xylenes [1].

For the Barium Chloride obtaining the Chlorine-Calcium technique is most widely used. The technological scheme of this technique includes the concentration stage with using of the vacuum evaporators [3]. This leads to high energy requirement which is significant disadvantage [4]. With aim to decrease the operative costs the possibility of the reverse osmosis was considered since this technique has much lower energy consumption.

In current work the set of experiments was carried out for evaluate of the effectivity the separation of the Barium Chloride solution by reverse osmosis. The results are represented on the figures 1 and 2.

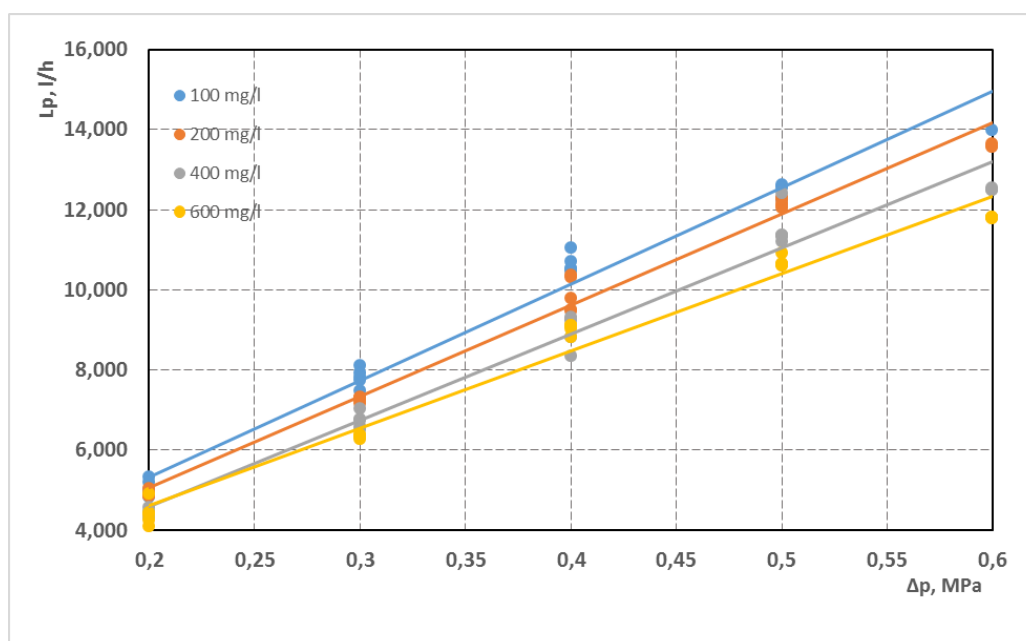


Figure 1. – The transmembrane flux vs. applied pressure

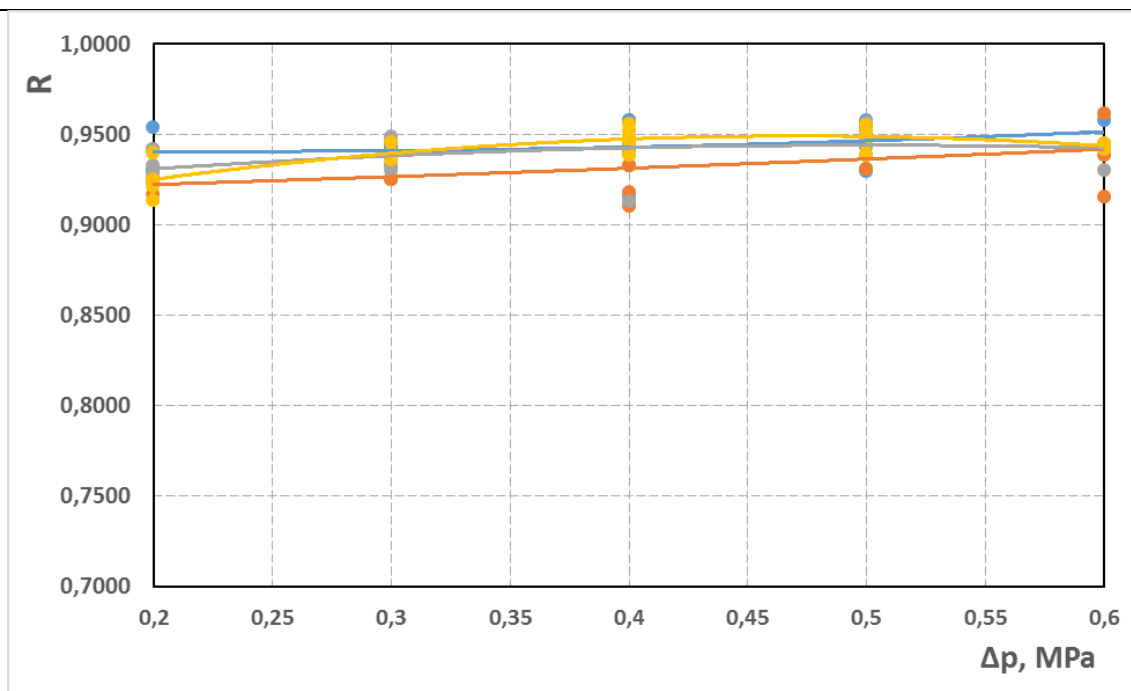


Figure 2. – The rejection rate vs applied pressure

The experiments were carried out for the range of the applied pressure from 0.2 to 0.6 MPa and in the range concentration from 100 mg/l to 600 mg/l. It can be seen from the figure 2, that the rejection coefficients were 0.9-0.95 for all cases. These results suggest that reverse osmosis has the satisfied level of selectivity. The transmembrane flux varied from 4 l/s to 14 l/s which correspond to the normal values of the fluxes for these types of membranes. These results allows to conclude that the reverse osmosis is suitable technique for Barium Chloride preconcentration before the vacuum evaporators.

#### References:

1. Barium Chloride from China Investigation No. 731-TA-149 (Third Review)
2. Рабинович В.А., Хавин З.Я. "Краткий химический справочник" Л.: [Химия](#), 1977 стр. 392
3. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрение, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот), ч.1, изд. 4-е, испр. Л.: Химия, 1974. 992 с.



4. GOKARN, A. N., GAIKWAD, A. G., PHALAK, C. A., & BHANDARI, V. M. (1999). Studies in the Reaction–Separation Method for the Preparation of Barium Chloride from Barite Using Ion Exchange. Separation Science and Technology

УДК 66.081.63

**THE MODERNIZATION OF THE EXPERIMENTAL SET-UP FOR THE DETERMINATION OF CONCENTRATION POLARIZATION LAYER RESISTANCE DURING REVERSE OSMOSIS**

Master degree student Virych S.I., associate professor, Ph.D. Huliienko S.V.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

*Abstract:* The description of the experimental set-up for the determination of the concentration layer resistance is represented. The advantages of the measurements method used in the removed set-up are analyzed.

*Key words:* reverse osmosis, membrane, concentration polarization, experiment, measurement

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ШАРУ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНІЇ ПРИ ЗВОРОТНОМУ**

Магістрант Вірич С.І., к.т.н., доцент Гулієнко С.В.

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

*Анотація:* Наведено опис модернізованої експериментальної установки для визначення опору шару концентраційної поляризації та проаналізовано переваги методів вимірювання, які використовуються в оновленій установці.

*Ключові слова:* зворотній осмос, мембранна, концентраційна поляризація, експеримент, вимірювання

Concentration polarization is one of the most important factors hindering the development and application of baromembrane processes. As a result of this phenomenon, fouling can form on the membrane surface, which makes additional resistance to mass transfer. Also, the resistance to mass transfer is caused by the concentration polarization layer itself, moreover, reliable dependences for determining the resistance of the concentration polarization layer have not yet been defined [1].

In previous works [2, 3], a technique for experimental determination of the resistance of the concentration polarization layer during the separation of mineral salt solutions by reverse osmosis was developed, and an experimental setup was developed, the general view of which is shown in Figure 1. The methodology involved the measurement of permeate and retentate flow rates, as well as concentrations in the separated solution, permeate and retentate.

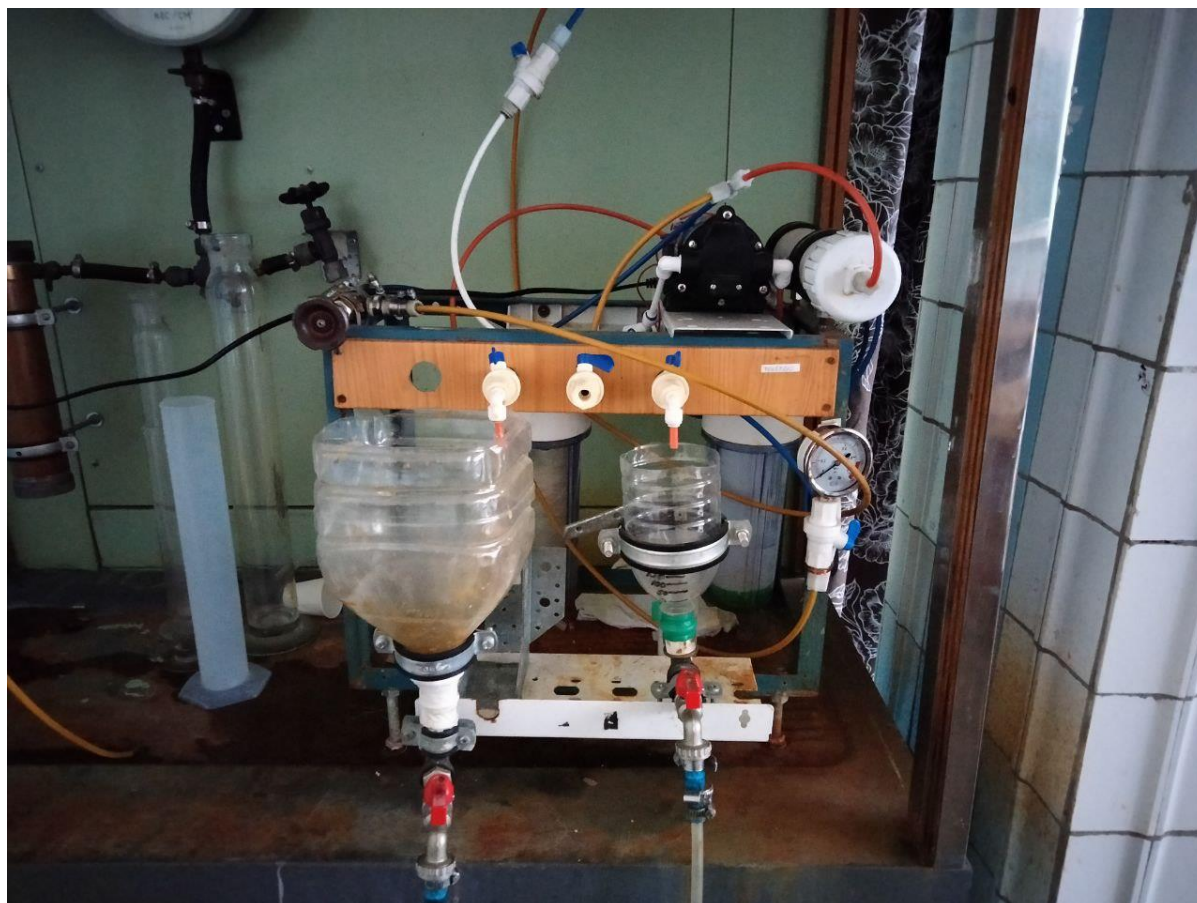


Figure 1. – Existing experimental setup

At the same time, the concentration was measured by a portable TDS meter, and the volumetric method was used to measure the flow rate (fixing the volume that was collected for a certain period of time). As a result, the determination of each experimental value required considerable time, as well as significant consumption of the studied solutions. Therefore, the modernization of such an installation is expedient.

The modernization was aimed at increasing the productivity of the experiments.

For this purpose, it was decided to use rotameters to measure flow rates and flow TDS meters to measure concentrations. The general view of the modernized experimental setup is shown in Figure 2.

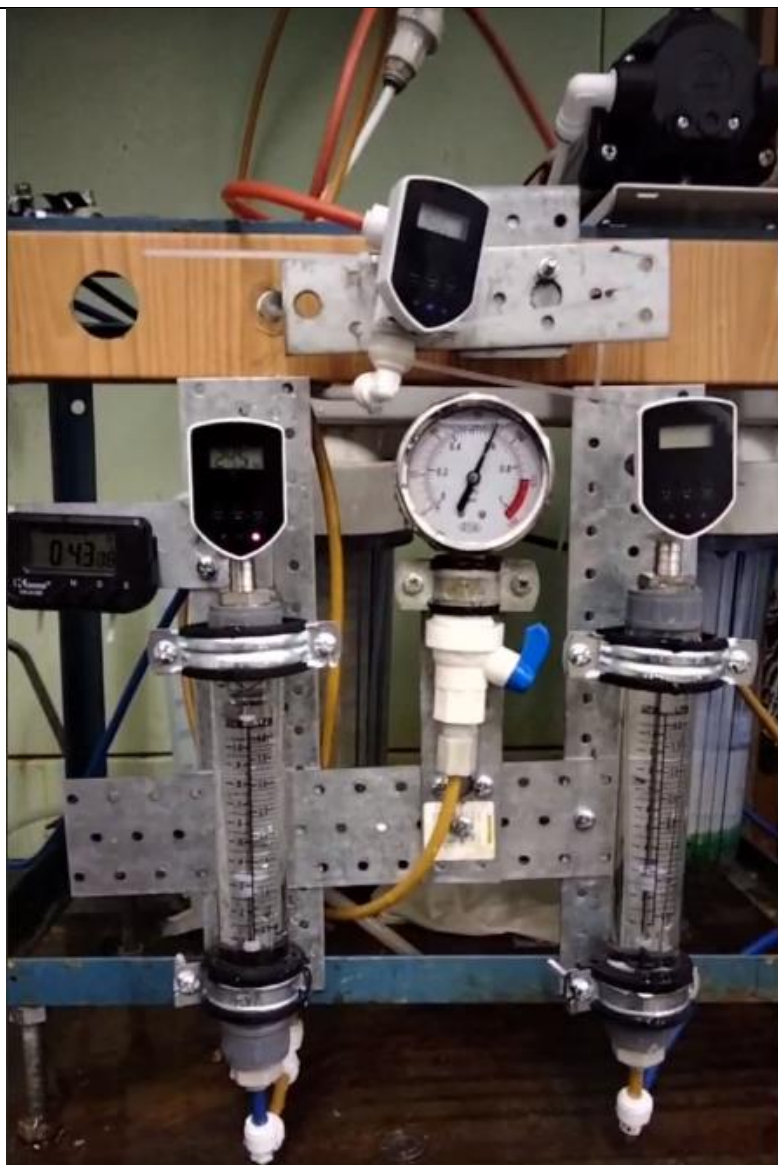


Figure 2 – Setup after modernization

The proposed modernization allows to measure instantaneous concentration values in the separated solution, permeate and retentate, as well as permeate and retentate flow rates. Therefore, more experimental data can be obtained with the same amount of separated solution and less time using the modernized unit. Thus, it will increase the productivity of experimental research.

**Reference:**

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: 10.1016/j.desal.2009.02.056.
2. 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: 10.24263/2304-974X-2019-8-1-13.
3. 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: 10.21272/jes.2019.6(2).f4.

UDC 676.242.3.06

## PAPER IS THE MAIN COMPONENT FOR THE PRODUCTION OF PACKAGING MATERIALS FOR THE FOOD INDUSTRY

Graduating Student Gondovskaya Anna, technical sciences candidate, senior scientist, assistant professor Ploskonos V.G.

National Technical University of Ukraine

“The Igor Sykorsky Polytechnical Institute of Kyev”

*Анотація.* Метою даної дослідницької роботи є вивчення особливостей розроблення пакувальних матеріалів на основі паперу для харчової промисловості, що є досить актуальним.

Ці тези відкривають серію інформації, що присвячені проблемам виробництва та використання пакувальних матеріалів для харчової промисловості на основі паперу. Слід зазначити, що немає універсального пакувального матеріалу. Залежно від виду продукту, який необхідно упакувати, одна і та ж властивість упаковки може бути корисною та шкідливою. В даній роботі, яка є першим із етапів пошукових досліджень, дано поштовх для проведення подальших досліджень та виконання експериментів, на базі яких можливо розробити пакувальні матеріали на основі паперу за різними показниками, необхідними для упакування продукції харчової промисловості.

*Ключові слова:* папір, пакувальний матеріал, механічні показники міцності пакування

*Summary.* The purpose of this research work is to study the peculiarities of the development of paper-based packaging materials for the food industry, which is quite relevant.

These theses open a series of information devoted to the problems of production and use of paper-based packaging materials for the food industry. It should be noted that there is no universal packaging material. Depending on the type of product to be packaged, the same packaging property can be beneficial or detrimental. In this work, which is the first of the stages of exploratory research, an impetus was given for conducting further research and conducting experiments, on the basis of which it is possible to develop packaging materials based on paper according to various indicators necessary for packaging food industry products.

*Key words:* paper, packaging material, mechanical indicators of packaging strength

The purpose of this research work is to study Frpossibilities of developing paper-based packaging materials for the food industry, which is quite relevant.

These theses open a series of information devoted to the problems of production and use of paper-based packaging materials for the food industry. First of all, it should be noted that Ukraine is a country with highly developed industries such as food and processing.

At the same time, for more efficient functioning of the food industry, rational consumption of raw materials, high-quality use of food products and increasing their competitiveness not only on the domestic market, but also on the foreign market, the creation of a modern packaging industry is necessary.

It should also be noted that the level of packaging consumption per capita characterizes the standard of living in the country to some extent. Therefore, the solution of many socio-economic problems related to the reduction of losses of finished products, the reduction of labor costs for its production, the improvement of the quality of goods and the increase in the volume of their sale, and the improvement of the efficiency of transportation depend on the volume of its production.

It should be noted that there is no universal packaging material. Depending on the type of product to be packaged, the same packaging property can be beneficial or detrimental. So, for example, the transparency of the packaging is desirable in some cases for products that require a visual assessment of their quality. But at the same time, it is undesirable for products sensitive to light, especially in the ultraviolet range. Another example can be the gas permeability of the packaging material. In many cases, it should be minimal, because the penetration of oxygen causes spoilage of the product. At the same time, when packing physiologically active products (fresh vegetables, fruits, berries), which require a constant supply of oxygen and removal of carbon dioxide for their normal operation,

Analyzing the domestic and foreign experience of using various types of packaging materials, it should be noted that each of these materials has its own specific use. The volumes of consumption of various types of packaging materials are subject to constant fluctuations depending on many factors, the main of which is the situation in the container market. Much depends on the economic and ecological situation, sanitary and hygienic, barrier, strength and other consumer properties of packaging materials [1,2].

Among the variety of packaging materials produced by different countries of the world, paper-based packaging materials occupy a stable position and maintain their share of the packaging market at the level of 40-50%.



According to foreign experts, the share of paper-based packaging materials in countries such as the USA, Germany and other Western European countries will grow. Thus, Germany produces up to 5 million tons of paper packaging materials annually. The growth rate of demand for these products is more than 2% per year. The production of packaging types of paper and cardboard increases by 1.5% per year, including food packaging by 0.9%, which amounts to 1.79 million tons.

Among European countries, France ranks first in the production of packaging paper and produces about 41% of the products produced in European countries. Among the Scandinavian countries, Sweden ranks first in the production of packaging types of paper and cardboard, the volume of their production is more than 1,700 thousand tons per year.

In the pulp and paper industry of Poland, the production of wrapping paper and parchment will grow rapidly. In recent years, Hungary has expanded its capacity for the production of packaging paper, such as bag and metallized.

Food industry enterprises of Ukraine use a wide range of paper used for packaging various types of products. A significant part of packaging types of paper is not produced in Ukraine, but is imported mainly from Finland, Germany, Norway, and Poland. In the early 1990s, Ukraine experienced a shortage of such materials as parchment and special types of under-parchment, the production of which was completely absent in the country.

As a packaging material, parchment is used, which is characterized by high grease resistance and moisture resistance. At the same time, the technology of obtaining parchment is environmentally dangerous. It is based on the method of chemical parchmenting of pre-made paper with concentrated solutions of sulfuric acid and requires additional costs for wastewater treatment. Since this technology poses a significant danger to the environment, its use is undesirable [3].

Therefore, taking into account the great need of Ukrainian food industry enterprises for packaging materials, it was necessary to develop an environmentally friendly technology and master the production of domestic paper instead of parchment, which would meet the requirements for packaging fat and moisture-containing products. Such packaging must meet world standards in terms of protective characteristics, provide an appropriate design, be cost-effective and have appropriate polygraphic design.

The results of studies performed at the time by OJSC "UkrNDIB" [3] and the patterns obtained on their basis, as well as the testing of these results in laboratory and industrial conditions, made it possible to determine the requirements for fibrous semi-finished products, as well as auxiliary materials and chemical additives used. The developed types of packaging paper [3] are characterized by the necessary complex of protective, mechanical, operational properties and have passed comprehensive production tests at various enterprises

of the food and processing industries. Packaging types of paper used for automatic and manual packaging of fat and moisture-containing products: butter, margarine in packs and monoliths, cheese and cheese-curd products, waffles, cookies, caramel, yeast and other products, have shown their compliance with the requirements of the food industry ,

Possessing the necessary protective and specific properties in the process of packaging a particular product, the structure of the developed types of paper is characterized by a sufficient ability to perceive printing ink, ensuring high-quality printing when a multi-colored label is applied to one of its sides.

Development of production and industrial production of paper for direct packaging of food products was carried out at the Malinska, Zmiivska, and Korostyshivska paper factories, which produced more than 1.5 thousand tons of such products per year, of which 500 tons were exported to foreign countries.

Paper of this purpose is urgently needed by the national economy, which constantly dictates the need to expand its assortment, improve quality, create new types and brands that take into account the properties of products that are packaged and are characterized by high special, protective and barrier properties, whiteness and surface condition. which provides packaging with a modern design at a low cost.

Thus, in this work, which is the first stage of exploratory research, an impetus was given for conducting further research and performing experiments, on the basis of which it is possible to develop packaging materials based on paper according to various indicators necessary for packaging food industry products.

### **References**

1. Ploskonos V. G. Methodology of development of new composite materials based on paper and cardboard using innovative and computer technologies // International scientific journal "Internauka". - 2020. No. 3(83), pp. 55-59, DOI : 10.25313/2520-2057-2020-3-5626.
2. Trukhtenkova N.E., Kilypenko A.V. and others. Packaging paper technology - M.: "Forest industry", 1974, 288 p.
3. Rybalchenko V.V., Koptyukh L.A., Ploskonos V.G., Osyka V.A. Increasing the greaseproofness of packaging paper.// Upakovka 2007, - No. 2, pp. 23-26.

UDC 676.251.3.09

## PAPER IS THE BASIS FOR THE PRODUCTION OF FILLED PARCHMENT FOR THE FOOD INDUSTRY

Graduating Student Seryogin Vladislav, technical sciences candidate, senior scientist, assistant professor Ploskonos V.G.

National Technical University of Ukraine

"The Igor Sykorsky Polytechnical Institute of Kyev"

**Анотація.** Метою даної дослідницької роботи є вивчення деяких особливостей виготовлення одного із видів наповненого пергаменту, що є досить актуальним на сьогоднішній день. Виробництво пергаменту включає дві стадії — виробництво паперу-основи та виробництво пергаменту з паперу-основи [1]. Якщо перша стадія - виробництво паперу-основи - досить традиційна, то друга більше нагадує хімічну технологію. У виробництві паперу-основи для пергаменту рекомендовано використовувати паперову масу, яка містить суміш сульфатної біленої целюлози з листяної і хвойної деревини [2]. Сульфатну білену листяну целюлозу використовують з вмістом  $\alpha$ -целюлози 86-91 %. Використання запропонованої паперової маси дає змогу забезпечити структурну однорідність пергаменту і його жиронепроникність за одночасного підвищення механічної міцності.

В даній роботі, яка є начальним етапом пошукових досліджень, дано поштовх для проведення подальших досліджень та виконання експериментів, на базі яких буде розроблено один із різновидностей паперу-основи наповненого пергаменту для упакування продукції харчової промисловості.

**Ключові слова:** папір-основа, пергамент, механічні показники міцності пергаменту.

**Summary.** The purpose of this research work is to study some features of the production of one of the types of filled parchment, which is quite relevant today. Production of parchment includes two stages — production of base paper and production of parchment from base paper [1]. If the first stage - the production of base paper - is quite traditional, then the second one is more reminiscent of chemical technology. In the production of base paper for parchment, it is recommended to use a paper mass that contains a mixture of sulfate bleached cellulose from hardwood and coniferous wood [2]. Sulfated bleached leafy cellulose is used with an  $\alpha$  cellulose content of 86-91%. The use of the proposed paper mass makes it possible to ensure the structural homogeneity of the parchment and its greaseproofness while simultaneously increasing the mechanical strength.

In this work, which is the initial stage of exploratory research, an impetus was given for conducting further research and performing experiments, on the basis of which one of the varieties of paper-base of filled parchment for packaging food industry products was developed.

**Key words:** base paper, parchment, mechanical indicators of parchment strength.

The purpose of this research work is to study some possibilities of manufacturing one of the types of filled parchment, which is quite relevant today.

The production of parchment includes two stages — production of base paper and production of parchment from base paper [1]. If the first stage - the production of base paper - is quite traditional, then the second is more reminiscent of chemical technology.

The main fibrous raw material for the production of vegetable parchment is bleached cellulose from coniferous and deciduous wood[1]. Since ordinary sulfite-bleached pulp is generally not sufficiently parchmentizable, sulfite pulp is used for the production of parchment, which is subjected to alkaline treatment or refinement. The use of short-fiber pulp from deciduous wood together with coniferous pulp improves the uniformity of base paper and parchment.

Requirements are put forward for the physical and mechanical parameters of the base paper for parchment, which are provided by the degree of fineness of the paper mass. For parchment weighing 1 m<sup>2</sup> 70 g, cellulose is ground to 27-34° SHR, for parchment weighing 1 m<sup>2</sup> 55 g - to 35-40° SHR, for parchment weighing 1 m<sup>2</sup> 50 g - 40-45° SHR [1].

Research [2] conducted to determine the effect of grinding sulfate-bleached coniferous cellulose, sulfate-bleached leafy and sulfite-bleached refined cellulose on the ability to parchment and the quality of parchment, showed the low strength of the base paper from a mixture of leafy and sulfite cellulose. However, parchment from these types of cellulose was of high quality. At the same time, a wide range of chemicals and inert additives can be added to the composition of the parchment, which give it a set of special properties. These additives should be introduced both at the stage of production of the base paper and at the stage of production of the actual parchment [2].

For the production of parchment, both single-layer and multi-layer base paper are used. At the same time, one or more layers of the base paper have an increased susceptibility to the action of parchment agents, while the others have a reduced susceptibility. A reduced susceptibility to the effect of parchmending agents is achieved by introducing chemicals that add hydrophobicity and moisture

resistance to the composition of the main or lower layer of the paper base. For the production of base paper, it is recommended to use a composition of 50% coniferous sulfate-bleached cellulose and 50% leafy sulfate-bleached cellulose. It is recommended to make the base paper on a machine with an additional grid. On the first grid, a parchment layer is formed from a composition with a degree of fineness of 15-20° CP without additives weighing 25-90 g (mostly 40 g) per 1 m<sup>2</sup>. On the second grid, a layer with limited parchenting is formed. The fibrous composition is ground to 25° SHR. 3-8% of moisture-resistant chemicals based on epichlorohydrin and a dispersion of an alkyl ketone dimer are introduced into the fibrous mass for hydrophobization. The layers are connected and a two-layer base paper is obtained, which is subjected to parchenting on a conventional machine. Parchment made in this way is recommended for packaging with increased strength requirements [2].

In the production of base paper for parchment, it is recommended to use a paper mass that contains a mixture of sulfate bleached cellulose from hardwood and coniferous wood [2]. Sulfate-bleached leafy cellulose is used with an  $\alpha$ -cellulose content of 86-91%. The use of the proposed paper mass makes it possible to ensure the structural homogeneity of the parchment and its greaseproofness while simultaneously increasing the mechanical strength.

In fig. 1 shows the change in the index of destructive force of the base paper after parchenting. The given data are for two types of base paper and two types of parchment, respectively - with filler and without filler.

From the graphs of fig. 1 shows that the mechanical strength of paper after parchenting increases by approximately 1.5-2.0 times. If the base paper with different weights of 1 m<sup>2</sup> had a destructive force of 40-60 N, then after parchenting this indicator increased to the values of 80-95 N. This should be explained by the fact that the strength of the paper consists of two components - the strength of the fibers themselves and the strength of the inter-fiber bonds of the paper. The last factor is directly related to the contact area between the fibers. It is thanks to the increase in the contact area between the fibers that the strength of the paper increases due to the increase in the degree of cellulose grinding. Thus, it can be assumed that the parchment process maximizes the contact area between the fibers, and thanks to this, even a thin parchment weighing 40 g/m<sup>2</sup> has a very high breaking force compared to high-strength paper types.

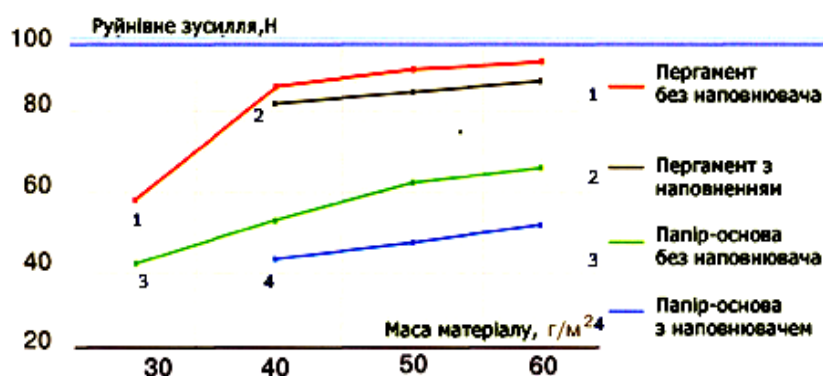


Fig. 1. Comparison of the destructive force of base paper and parchment for different masses of 1 m<sup>2</sup>

It is known that fillers significantly reduce the strength of paper. As can be seen from fig. 1, that the introduction of a filler, in this case - titanium dioxide, at a mass fraction of about 4% led to a decrease in the destructive force of the base paper by 25-30%. However, after parchmenting, the mechanical strength of parchment with filler and without filler differed slightly, at the level of 5-7%. This once again confirms that the parchment has not so much a fibrous structure, where the filler reduces strength by reducing the contact area of the fibers, as a film structure, where the filler is interspersed in a monolithic structure, and its loosening effect is practically not felt (with negligible content).

Thus, in this work, which is the initial stage of exploratory research, an impetus was given for conducting further research and conducting experiments, on the basis of which one of the varieties of paper-based filled parchment for packaging food industry products was developed.

#### Used Books

1. Truhtenkova N.E., Kilipenko O.V. etc. Packaging paper technology-M:, "Forest industry", 2004, 288 p.
2. Rybalchenko V.V., Koptuykh L.A., Ploskonos V.G., Osyka V.A. Increasing the greaseproofness of packaging paper.// Upakovka 2007, - No. 2, pp. 23-26.

**СЕКЦІЯ 2**

**«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»**

УДК 676.166.6+661.123

## ЕКСТРАКЦІЯ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ВОЛОКОН КОНОПЕЛЬ

магістрантка Килюшик Т. І, аспірантка Якименко О. С., професор Барбаш В.

А.

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

Описано стан із забезпеченням сировиною підприємства целюлозно-паперової галузі та властивості наноцелюлози. Досліджено процес отримання наноцелюлози із конопляної органосольвентної целюлози. Встановлено, що додавання 0,5 % наноцелюлози у волокнисту композицію призводить до покращення фізико-механічних показників зразків паперу для харчових продуктів до вимог показників першого сорту, а додавання 2 % наноцелюлози - до відповідності показникам паперу вищого сорту.

**Ключові слова:** органосольвентна конопляна целюлоза, наноцелюлоза, папір

The situation with the provision of raw materials for the pulp and paper industry and the properties of nanocellulose are described. The process of obtaining nanocellulose from hemp organosolvent cellulose was studied. It was established that the addition of 0.5% of nanocellulose to the fibrous composition leads to an improvement of the physical and mechanical indicators of food paper samples to the requirements of the first-grade indicators, and the addition of 2% of nanocellulose to compliance with the indicators of the highest-grade paper.

**Keywords:** organosolvent hemp cellulose, nanocellulose, paper

В останні роки зростає інтерес до розробки нових технологій виробництва біорозкладних матеріалів з екологічно чистих відновлюваних рослин, які здатні замінити полімери, виготовлені з вичерпних природних ресурсів — нафти, газу, вугілля. Основною рослинної сировиною для



промислових способів одержання целюлози у світовій целюлозно-паперовій промисловості (ЦПП) залишається деревина, яка відіграє надзвичайно важливу природоохоронну роль, виконує ґрунтозахисну та водоакумулюючу функції, є основним постачальником кисню в атмосферу та місцем відпочинку. До основних проблем, які стримують розвиток світової ЦПП, також відносяться забруднення навколишнього середовища, технічний рівень технологій та обладнання. Це викликає нагальні питання щодо забезпечення підприємств ЦПП необхідною сировиною та енергією, а також охорони довкілля через рівень парникових газів і забруднення повітря. Для країн з обмеженим запасом деревини і розвинутим сільським господарством, альтернативним шляхом вирішення сировинної проблеми для ЦПП є використання недеревної рослинної сировини.

До представників недеревної рослинної сировини відносяться промислові ненаркотичні коноплі - однорічна луб'яна рослина сімейства *Cannabis*, яка вирощується для отримання волокна та насіння. Конопляна солома містить близько 30% волокон, з яких виробляють довговолокнусту целюлозу з виходом до 80% [1]. Конопляну целюлозу можна використовувати як сировину для виробництва спеціальних видів паперу і хімічної переробки, зокрема для виробництва наноцелюлози. Наноцелюлоза є біорозкладним матеріалом із високою механічною міцністю, міцнішим за сталь, високою прозорістю та хімічною стійкістю, легкою вагою та низьким коефіцієнтом теплового розширення, великою питомою площею поверхні та низькою вартістю. Таким чином, наноцелюлоза широко використовується в промисловості у виробництві біополімерів і біокомпозитів, упаковки та гнучкої електроніки, у фармацевтичній науці та медичних додатках, а також як засоби гігієни та санітарії [2].

Для отримання наноцелюлози використовуються кілька механічні, хімічні та біотехнологічні методи, технологічні параметри яких залежать від

виду вихідного целюлозовмісного матеріалу, попередніх етапів його обробки і кінцевих показників наноцелюлози. Механічні методи виробництва наноцелюлози використовують різні види механічної обробки: гомогенізацію, подрібнення, мікрофлюїдизацію, ультразвукову обробку, кульовий млин і кріогенез, і вони характеризуються значним енергоспоживанням. Попередня ферментативна або хімічна обробка целюлози знижує витрати енергії на виробництво наноцелюлози. Тому типовим методом вилучення наноцелюлози з целюлозовмісних матеріалів є використання кислотного гідролізу, зокрема розчинами сульфатної кислоти [2].

Процес гідролізу органосольвентної конопляної целюлози проводили розчинами сульфатної кислоти концентрацією 40 - 60% за температури 40°C, 50°C і 60°C, тривалістю від 30 до 90 хв. Отриману наноцелюлозу тричі промивали дистильованою водою в лабораторній центрифугі для видалення кислого розчину. Суспензію наноцелюлози обробляли ультразвуком при 22 кГц за допомогою ультразвукового диспергатора протягом однієї години.

Отримана конопляна наноцелюлоза використана як зміцнююча добавка для виготовлення зразків паперу для пакування харчових продуктів на автоматах. Для цього у волокнисту масу додавали розчин наноцелюлози і алкілкетен димеру (АКД). Результати фізико-механічних випробувань зразків паперу для пакування харчових продуктів без додавання і з додаванням НЦ і АКД наведено на рис. 1 і 2.

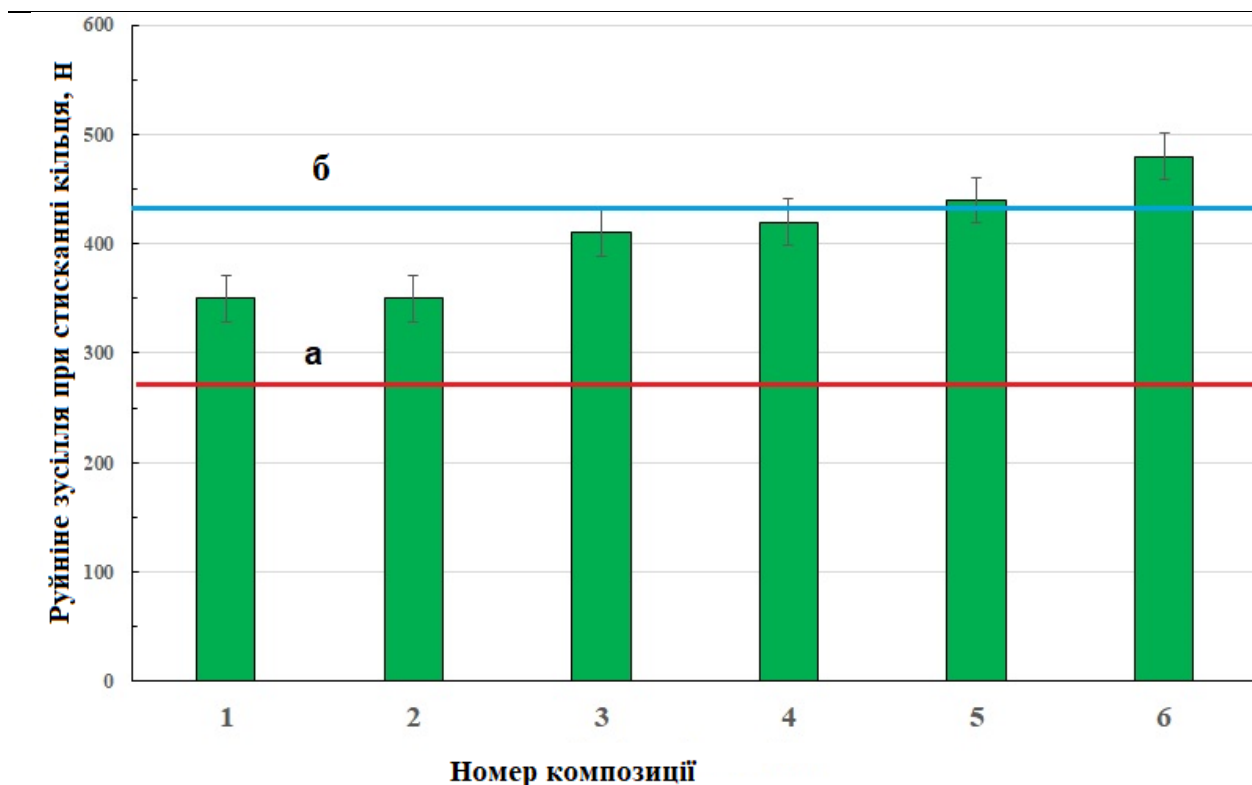


Рис. 1 – Залежність показника руйнівного зусилля при стисненні кільця для зразків паперу: 1- без ХДР; 2- з 1% АКД; 3- 0.5% АКД+0,5% NC; 4- 0.5% АКД +1% NC; 5- 0.5% АКД+1,5% NC; 6- 0.5% АКД + 2% NC та вимоги стандарту для першого сорту (а) і для вищого сорту (б) паперу

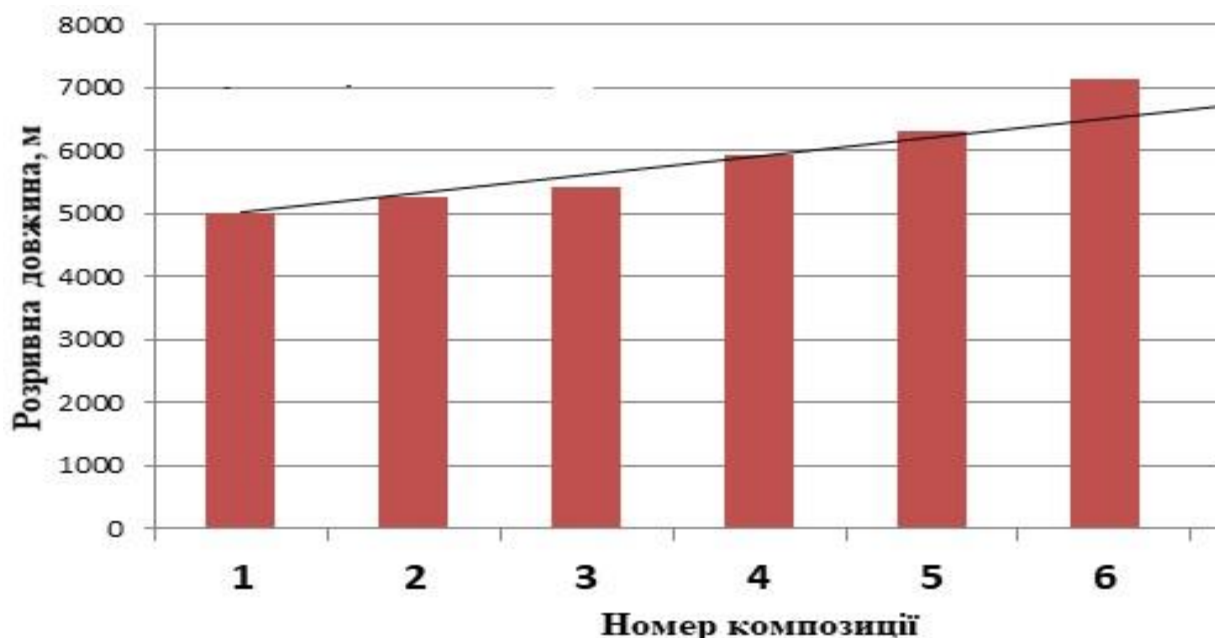


Рис. 2 – Значення розривної довжини паперу для пакування харчових продуктів різного композиційного складу (позначення як на рис. 1)

Як видно із наведених на рисунках даних, додавання до волокнистої композиції наноцелюлози закономірно збільшує фізико-механічні показники паперу. Таким чином встановлено, що за витрати конопляної наноцелюлози 0,5% від волокнистої маси отримано зразки паперу, які задовольняють вимогам стандарту до паперу для пакування харчових продуктів на автоматах марки В, а за витрати наноцелюлози 2% від маси паперу – показникам паперу вищого сорту.

**Перелік посилань:**

2. Keller N.M. The Legalization of Industrial Hemp and What it Could Mean for Indiana's Biofuel Industry. Indiana International & Comparative Law Review. 2013, 23(3):555. <https://doi.org/10.18060/17887>
3. Barbash V.A., Yashchenko O.V., Yakymenko O.S., Zakharko R.M., Myshak V.D. Preparation of hemp nanocellulose and its application for production of paper for automatic food packaging. Cellulose, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04773-6>

УДК 541.18.045: 628.165

**ЗАСТОСУВАННЯ КИСЛОТ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОЛІСТИРОЛЬНИХ  
МЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРІВ СИСТЕМ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ**

Маргарита Карпенко

PhD-студент

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

history1991@ukr.net

Анотація: У статті проаналізовано сучасні дослідження щодо очищення механічних фільтрів систем зворотного осмосу від сполук заліза. Ми провели ряд досліджень, які дозволяють регенерувати полістирольні механічні фільтри. Використовували розчини хлоридної та сульфатної кислот різної концентрації. Ми також досліджували очищення свіжих і сухих фільтрів протягом трьох місяців. Найбільш ефективним виявилось застосування 10% соляної кислоти на сухих фільтрах. Він повністю розчиняє залізо і дозволяє регенерувати полістирольний фільтр. Його знову можна використовувати в системах зворотного осмосу. Більш детальні результати дослідження ми плануємо показати в наступних публікаціях після перевірки експериментальної установки за цією методикою очищення.

Ключові слова: очищення, фільтрація, забруднення, рекомендації, мембрани, нанотехнології, продуктивність, очищення, дослідження, зворотний осмос, водопідготовка.

Одним з найефективніших методів очищення води визнана системи зворотного осмосу. Зворотний осмос - це процес, при якому молекули розчинника (води) під тиском переходять з розчину (води, що містить домішки) в чистий розчинник (воду). Якщо прикладати з боку розчину тиск,

що перевищує осмотичний, то молекули води з розчину будуть вільно проникати в чисту воду [1].

Процес зворотнього осмосу (рис. 1) відноситься до процесу мимовільного проникнення розчинника (води) через напівпроникну мембрану, розділяючись на очищений розчин і більш концентрований розчин (мембрани здатні пропускати розчинник і утримувати мінеральні солі, органічні сполуки та інші домішки). При цьому рівень розчину з одного боку мембрани підвищується, а розчинника з іншого боку знижується.

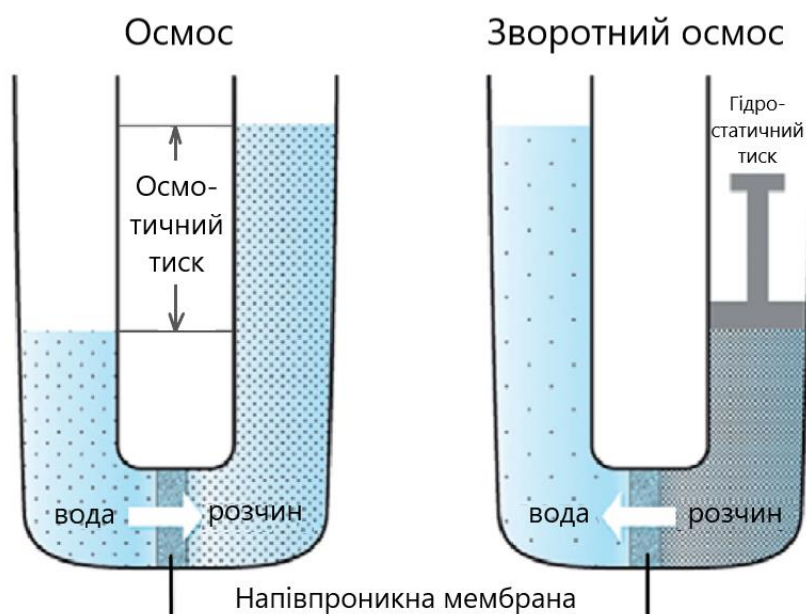


Рис. 1. Схема процесу зворотнього осмосу

Наші дослідження спрямовані на вивчення негативного впливу на навколишнє середовище відходів систем зворотнього осмосу. На даному етапі ми вивчаємо методи очищення та регенерації фільтра, який працює на першому етапі очищення.

Розвиток технології зворотнього осмосу ставить питання про зниження експлуатаційних витрат і вартості очищеної води. Заміна мембранних елементів є найбільш значною статтею витрат, пов'язаною з обслуговуванням

систем фільтрації. Тому дуже важливо максимізувати термін їх служби. Для цих цілей в системах зворотного осмосу використовуються антискаланти. Вони запобігають утворенню вапняних відкладень на поверхні мембрани, зберігаючи її активність протягом усього терміну служби. При виборі реагенту важливо враховувати властивості мембрани.

Антискаланти, або інгібітори накипу, — це група хімічних сполук, які є власними органічними синтетичними полімерами. Серед речовин, що перешкоджають осадженню мінеральних солей у кристалічній формі, можна виділити поліакрилову, полімалеїнову, карбонову кислоти, поліфосфати та фосфонати з молярною масою 2000 - 10000 Да.

Мембрани зворотного осмосу стають все більш популярними для очищення води та повторного використання, оскільки вони високоефективні, прості в експлуатації та економічні. Очищення мембрани є важливим кроком у підтримці ефективності мембрани для тривалої експлуатації, оскільки забруднення мембрани неминуче.

Використання мембран на основі поліаміду забезпечує вищі потоки пермеату, ніж інші полімери, тоді як стійкість до окислювачів є дуже низькою. Ефективний термін служби поліамідних мембран коливається від 3 до 5 років [2, с.7].

За останні десятиліття було опубліковано кілька нових методів очищення та багато досліджень щодо очищення мембран під високим тиском. Однак все ще відсутній комплексний огляд очищення мембран у мембранах NF та RO. У різних статтях розглядаються останні розробки очищення мембран, включаючи фізичне очищення, хімічне очищення та біологічне/біохімічне очищення. Також розглядається комбінований процес очищення та послідовний процес очищення різними хімічними речовинами або біологічними/біохімічними агентами [3, с.36].

Ми проаналізували сучасні дослідження щодо очищення механічних фільтрів систем зворотного осмосу від сполук заліза. Ми провели ряд досліджень, які дозволяють регенерувати полістирольні механічні фільтри [4]. Використовували розчини хлоридної та сульфатної кислот різної концентрації. Ми також досліджували очищення свіжих і сухих фільтрів протягом трьох місяців. Найбільш ефективним виявилось застосування 10% соляної кислоти на сухих фільтрах. Він повністю розчиняє залізо і дозволяє регенерувати полістирольний фільтр. Його знову можна використовувати в системах зворотного осмосу. Більш детальні результати дослідження ми плануємо показати в наступних публікаціях після перевірки експериментальної установки за цією методикою очищення.

#### **Список використаних джерел:**

1. Кравченко М.В. Зворотний осмос—як метод доочистки питної води на локальному рівні. 2022. PhD Thesis. ІТТА.
2. Da Silva M. K. et al. Rejuvenating polyamide reverse osmosis membranes by tannic acid treatment //Separation and purification technology. – 2012. – Т. 100. – С. 1-8.
3. Liu Z. L. et al. A review on cleaning of nanofiltration and reverse osmosis membranes used for water treatment //Desalination and Water Treatment. – 2017. – Т. 87. – С. 27-67.
4. Радовенчик, В.М. і Карпенко, М.В. 2021. ВИКОРИСТАННЯ РОЗЧИНІВ ОРГАНІЧНИХ КИСЛОТ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МЕМБРАННИХ БЛОКІВ БАРОМЕМБРАННИХ УСТАНОВОК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2 (Вер 2021). DOI:<https://doi.org/10.31649/2307-5376-2021-2-13-18>.



УДК 542.816:66.081

## МЕМБРАННА ДИСТИЛЯЦІЯ, ЯК ОДИН ІЗ МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ВОДИ

магістр Глушук В.Р., к. т. н., доцент Трембус І. В.

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

*Анотація.* Підземні води є найбільшим резервуаром прісної води у світі, на них припадає понад 97 % усієї прісної води, доступної на землі (за винятком льодовиків і крижаних шапок). Однак, прісна вода є ресурсом, який використовується не лише як джерело питної води, але також є важливим ресурсом для промисловості.

**Ключові слова:** МЕМБРАННА ДИСТИЛЯЦІЯ, МЕМБРАНИ, МОДЕЛЮВАННЯ

Забруднення повітря, землі та її поверхні, океанів і річок відіграє важливу роль у якості та кількості прісної води [1].

Один із методів очищення називається «мембранна дистиляція». Мембранна дистиляція добре підходить для процесів розділення, в яких вода є основним компонентом живильного розчину.

У мембранній дистиляції принаймні одна сторона мікропористої гідрофобної мембрани знаходиться в прямому контакті з водним розчином. Різниця парціального тиску, викликана градієнтом температури між двома сторонами мембрани, викликає масообмін через пори мембрани.

Під час процесу мембранної дистиляції молекули рідини не можуть проникати через гідрофобність мембрани, і лише молекули водяної пари можуть проходити через стінки мембрани. На основі різниці парціального

тиску відбувається випаровування летких сполук; молекули пари проходять через пори та конденсуються/відводяться на стороні пермеату мембрани [2].

Застосовуються різні конфігурації для підтримки рушійної сили з двох сторін мембрани. Однак ці конфігурації можна розрізнити лише за процесом конденсації [2].

Конденсаційна рідина (зазвичай чиста вода), холодніша за вихідний потік, протікає через пермеатну сторону мембрани за допомогою циркуляційного насоса. У той час леткий компонент (вода або леткі органічні сполуки) випаровується на межі гаряча рідина/пара, проходить через пори та конденсується в конденсаційній рідині всередині комірки.

Цей тип конфігурації відомий як пряма контактна мембранна дистиляція через прямий контакт між конденсаційною рідиною та поверхнею мембрани. Серед різноманітних конфігурацій мембранна дистиляція досліджується найбільше через легкість налаштування в лабораторних умовах і вищий потік пермеату, у порівнянні з іншими конфігураціями [3].

Мембрани повинні мати такі характеристики, щоб продемонструвати свою найкращу ефективність у процесі очистки. Перед проведенням випробувань застосовані мембрани необхідно охарактеризувати різними методами, щоб уникнути змочування під час досліджень.

Методи визначення характеристик мембрани наступні [4]:

- тиск рідини на вході;
- пористість та теплопровідність;
- контактний кут води;
- товщина мембрани.

Після кількох десятиліть наполегливих досліджень для розуміння концепції мембранної дистиляції та її труднощів все ще існує багато перешкод, які необхідно усунути для індустріалізації методу. Базуючись на останніх розробках, процес мембранної дистиляції можна використовувати в

широкому спектрі застосувань, таких як опріснення та очищення стічних вод [5].

Хоча процес мембранної дистиляції все ще має ряд недоліків, які обмежують його продуктивність, таких як високе споживання енергії, тривалий період роботи, змочування та забруднення, а також відсутність відповідного модуля, були представлені різні звіти для підвищення потоку пермеату та утримання розчинених речовин і зменшення споживання енергії процесу, включаючи розроблені мембранні модулі та гібридні системи мембранної дистиляції [6].

Вплив робочих параметрів мембранної дистиляції вивчався багаторазово, але деякі сфери, пов'язані з комерціалізацією, все ще залишаються поза увагою або мало досліджуються. Таким чином, необхідна сильна мотивація для досліджень у занедбаних областях, таких як дизайн мембранного модуля або змінні масштабування, як в експериментальних, так і в моделюючих областях, в яких отримані експериментальні дані будуть надзвичайно вигідно корисними.

#### **Перелік посилань:**

1. Hunt S.M., Werner E.M., Huang B. et al. Hypothesis for the Role of Nutrient Starvation in Biofilm Detachment // Applied and environmental microbiology. 2004.
2. Jafari A, Kebria MRS, Rahimpour A, Bakeri G. Graphene quantum dots modified polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofibrous membranes with enhanced performance for air gap membrane distillation. Chemical Engineering and Processing Process Intensification. 2018, 126., P. 222-231.
3. Lawson KW, Lloyd DR. Membrane distillation. II. Direct contact MD. Journal of Membrane Science. 1996, 120, P. 123-133.

4. Esfahani MR, Aktij SA, Dabaghian Z, Firouzjaei MD, Rahimpour A, Eke J, et al. Nanocomposite membranes for water separation and purification: Fabrication, modification, and applications. Separation and Purification Technology. 2019, 213, P. 465-499.

5. Zakrzewska-Trznadel G, Harasimowicz M, Chmielewski AG. Concentration of radioactive components in liquid low-level radioactive waste by membrane distillation. Journal of Membrane Science. 1999, 163, P. 257-264.

6. 35.Dow N, Zhang J, Duke M, Li JD, Gray SR, Ostarcevic E. Membrane Distillation of Brine Wastes, 2008.

УДК 625.74

**ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ  
БУДІВНИЦТВІ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ ТА ГІДРОТЕХНІЧНИХ  
СПОРУД**

доц.Рубльов А.В., к.т.н.,

**каф. Мостів тунелів та гідротехнічних споруд НТУ**

Величко Н.М., с.н.с., Вялих Т.І., с.н.с.

**Інститут геронтології ім.. Д.Ф. Чеботарьова НАМН України**

Будівництво на акваторіях та біля них, завжди впливає на довкілля, як на екосистему певних одиниць рельєфу, а також на універсальні природні ресурси та фізичні явища, що не мають чітких меж, наприклад повітря, вода, та навіть клімат. Більше 155 країн визнають, що їх громадяни мають право жити в здоровому та екологічно чистому довкіллі у відповідності с законодавством держави, або у відповідності з такими міжнародними відносинами як Всесвітня декларація прав людини.

Незважаючи на ці засоби захисту, за оцінками ВОЗ, 23% всіх смертей пов'язані з такими «екологічними ризиками», як забруднення повітря, зараження води та хімічний вплив.

Територія і навколишнє середовище місця будівництва, а також природні явища, що відбуваються в їхніх межах, піддається суттєвих змін екологічних показників, стан якого до початку будівництва, необхідно оцінити по критеріям норм. Охорона водних ресурсів і водопостачання регулюються «Водним кодексом України», постановами, державними стандартами, нормами. Правовій охороні належать всі води, що входять в склад єдиного державного водного фонду – поверхневі (ріки, озера,

водосховища, канали, ставки), територіальні води, рибоохоронні зони. Оцінити які впливи будуть мати незворотні процеси по стану повітря, води, випромінювання, електричної напруги й магнетизм, показники антропогенного походження.

Важливим є врахування модулювання ситуації при наявності штучного регулюючого русла і регуляційних споруд (дамб, шпор та ін.), виникнення несприятливих течій і шкідливих руслових переформування, виникнення замулювання дна, що призведе до розмиву одних ділянок русла і відкладення наносів на інших, достатність (або недостатність) межені глибини ріки в місті розташування водозабору, наявність днозаглиблень, гребель.

Загальними задачами охорони водного середовища є:

- аналіз стану поверхневих і підземних вод;
- прогноз стану водного басейну в зв'язку з будівництвом мостових та гідротехнічних споруд;
- розроблення системи заходів по охороні поверхневих і підземних вод від виснаження та забруднення.

Особливо важливе значення водоохоронні заходи мають для малих рік і озер, оскільки запаси води в них невеликі і можуть бути легко порушені, як по кількості, так і по якості води. Враховуючи невеликі площі водозборів малих рік, вирубка навіть відносно невеликих ділянок лісу для розміщення земляного полотна, будівельних площадок, тимчасових доріг може суттєво позначитися на їх водному режимі. Значне зменшення кількості лісу веде до зниження підземного живлення рік, їх обміління в меженний період і навіть до пересихання.

Для оцінки стану водного середовища треба визначити ступінь існуючого забруднення та його передбачуваний (за розрахунками) зріст в зв'язку з будівництвом:

- в період розташування в водоохоронних зонах будівельних площадок з селищем, полігону по виготовленню збірних залізобетонних конструкцій, бази механізації,

- в період експлуатації.

Отримана за розрахунками ступінь забруднення водного середовища не повинна перевищувати встановлені гранично допустимі концентрації, оскільки кожне водоймище є собою єдину екосистему. Виявлені проблеми охорони довкілля потрібно вирішувати з науково-обґрунтованих екологічних позицій, враховуючи встановленими нормами вимог для усіх землекористувачів в комплексі.

#### **Перелік посилань:**

1. Водний кодекс України. – Київ: Верховна рада України, 1995.
2. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2003.
3. ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
4. ДБН В.1.1-25-2009. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.

УДК 676.128

## ECOLOGICAL EXTRACTION OF VEGETABLE RAW MATERIAL USING IONIC LIQUIDS

Graduate student Mykhailenko Nazarii, associate professor Trembus Irina

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***Abstract:** the purpose of the work is to study an ecological way of obtaining cellulose from plant raw materials with usage ionic liquids. The effect of reagents on the raw materials and the effect of temperature on the yield of cellulose was investigated.*

***Key words:** ionic liquid, raw materials, imidazolium*

Plant raw materials are the most renewable resources on Earth and they contain many valuable components. Currently, the search for ecological technologies that allow complex processing of plant raw materials is a very important task for the pulp and paper and chemical industry in general. Usage of ionic liquids as a base for biomass processing is an alternative method of obtaining lignocellulosic materials, which relate to the principles of green chemistry. Complex processing of plant raw materials with usage of ionic liquids allows the selective separation of hemicellulose, lignin and cellulose [1].

Ionic liquids are salts that usually consist of large organic cation and an organic or inorganic anion. The low energy of the lattice between the anion and the cation leads to their low melting point, which is usually less than 100 °C. Thus, these solvents have quite interesting properties that contribute to the penetration of plant material into the cell and the dissolution of its components. These properties are high chemical and thermal resistance, non-flammability and low vapor pressure



[1]. It has been investigated that among all ionic liquids, those which contain imidazolium ions are the most suitable for processing vegetable raw materials [2]. The imidazolium cation does not contain atoms with high electronegativity and does not cause a decrease in the efficiency of the solvation process. It has small size and does not cause spatial complications during intermolecular hydrogen bonds formation [3]. Imidazolium cations that have widespread usage for dissolving plant raw materials are 1-ethyl-3-methylimidazolium ([EMIM]), 1-butyl-3-methylimidazolium ([BMIM]), 1-allyl-3-methylimidazolium ([AMIM]) and 1-benzyl-3-methylimidazolium ([BnMIM]) [4]. Studies have shown that ionic liqs like [EMIM] and [BMIM] are the best solvents for lignocellulosic materials, compared to other liquids, because they have a fairly low melting point. Also, the production of these substances has already been implemented in industry [5, 6].

The chemical composition of the anion also strongly affects the solubility and selectivity of the ionic liquid [7]. The acetate anion [OAc] due to its high basicity, can effectively cleave the water bond and therefore provides better wood dissolution compared to chloride [Cl] [8]. It also has a higher ability to dissolve lignin compared to chloride [9].

The results of processing wheat straw [EMIM][OAc] and the yield of lignocellulosic materials are shown in Table 1 [1].

**Table 1 – Results of wheat straw processing [EMIM][OAc]**

Temperature, °C	Duration, hours	Cellulose content, %	Hemicellulose content, %	Lignin content, %
80	12	57,4	17,4	10,1
	18	50,4	17,6	8,9
100	6	44,2	19,7	8,9
	12	48,0	18,7	8,5
	18	42,1	17,4	10,2
120	2	45,4	18,8	10,9
	6	44,5	19,8	11,6

140	2	38,4	20,8	6,9
	6	37,1	18,2	7,6

So, the cellulose with the smallest number of inclusions was obtained after treatment with [EMIM][OAc] at a temperature of 140 °C and a treatment duration of 6 hour. It was possible to achieve complete dissolution of the components of plant raw materials in such conditions. It can be concluded that during the cellulose production process with usage of ionic liquids, the temperature is the most significant condition and its increasing above 140 °C is undesirable. Such conditions contribute to the decomposition of the polysaccharide part of plant raw materials.

The usage of ionic liquids as reagents for the processing of raw materials will enable its complex recycle and will allow the isolation of such components as cellulose, hemicelluloses and lignin for their further processing. This technology allows to regenerate the components of the cooking solution for their repeated usage. The main disadvantage of using ionic substances as reagents for complex processing is their high cost.

### **References:**

1. Sara P., Magalhães, da, Silva., André, M., da, Costa, Lopes., Luísa, B., Roseiro., Rafał, Bogel-Łukasik. Novel pre-treatment and fractionation method for lignocellulosic biomass using ionic liquids. *RSC Advances*. – 2013. – №3. – p. 16040 – 16050.
2. Abushammala H., Mao J. A Review on the Partial and Complete Dissolution and Fractionation of Wood and Lignocelluloses Using Imidazolium Ionic Liquids. *Polymers*. – 2020. – № 12. – p. 195.
3. Da Costa Lopes A. M., Joao K. G., Rubik D. F., Bogel-Lukasik E., Duarte L. C., Andreus J., Bogel-Lukasik R. Pre-treatment of lignocellulose biomass

using ionic liquids: Wheat straw fraction. *Bioresour Technol.* – 2013. № 142. – p. 198 – 208.

4. Cox B.J., Ekerdt J.G. Pretreatment of yellow pine in an acidic ionic liquid: Extraction of hemicellulose and lignin to facilitate enzymatic digestion. *Bioresour Technol.* – 2013. – № 134. – p. 59 – 65.

5. Pang J., Liu X., Zhang X., Wu Y., Sun R. Fabrication of cellulose film with enhanced mechanical properties in ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl). *Materials.* – 2013. – №6. – p. 1270 – 1284.

6. Cao Y., Zhang R., Cheng T. et al. *Appl. Microbiol Biotechnol.* – 2017. – № 101. – p. 521 – 523.

7. Brandt A., Hallett J.P., Leak D.J., Murphy, R.J., Welton T. The effect of the ionic liquid anion in the pretreatment of pine wood chips. – *Green Chem.* – 2010. – № 12. – p. 672–679.

8. Vo H.T., Kim C.S., Ahn B.S., Kim H.S., Lee H. Study on dissolution and regeneration of poplar wood in imidazolium-based ionic liquids. – *Wood Chem. Technol.* – 2011. – № 31. – p. 89–102.

9. Strehmel V., Strunk D., Wetzel, H., Strehmel N. Investigation of lignin obtained by processing of *Betula pendula* with ionic liquids. *Sustain. Chem. Pharm.* – 2017. – № 6. – p. 107–113.

УДК 676.274

## **ARTIFICIAL AGING OF PAULOWNIA FIBERS**

D. Chernyshenko master, R. Cherepkina, associate professor,  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute»

### *Summary*

*General information and factors affecting cardboard aging are described. Quality indicators of sodium cellulose from paulownia wood are given. The results of artificial aging of fibers in cardboard were obtained.*

## **ШТУЧНЕ СТАРІННЯ ВОЛОКОН ПАВЛОВНІЇ**

D. Chernyshenko master, R. Cherepkina, associate professor,  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute»

### *Анотація*

*Описано загальні відомості та фактори, які впливають на старіння картону. Наведено показники якості натронної целюлози з деревини павловнії. Отримано результати штучного старіння картону.*

The rapid development of technologies in various fields leads to significant emissions of harmful substances into the environment. Air pollution with gaseous products, especially with high acidity, is one of the main reasons for the negative impact on paper and cardboard and their destruction.

The best semi-finished products for the production of cardboard with high stabilization capabilities are cellulose sulfate from coniferous wood species, cotton, flax, hemp, kenaf. However, due to their shortage, there is a constant search for alternative sources of raw materials and semi-finished products from them, which are able to provide various properties of cardboard. Therefore, pulp from

hardwoods, as well as annual types of non-woody raw materials, are increasingly being used in the composition of cardboard.

The diversity of the use of fibrous semi-finished products in the production of paper and cardboard products, together with the effect on them of moisture, oxygen, air ozone, is accompanied by yellowing and loss of mechanical strength. All this leads to the aging of paper and cardboard.

Aging of cardboard, which is accompanied by a decrease in mechanical strength, is caused by deep chemical changes in the cellulose macromolecule. Due to its structure, natural cellulose is capable of oxidation and hydrolysis reactions, the result of which is hydrolytic destruction catalyzed by cellulose acids, oxidative destruction of cellulose under the influence of the environment, mechanochemical destruction caused by mechanical loads during storage [1].

Therefore, there was a need to stabilize cardboard - one of the components of document preservation, which has become extremely relevant in recent years.

Aging of cardboard is accelerated under the influence of light, increased temperature and humidity, under the influence of biological pests, a sharp change in the environment, composition, namely the presence of fibers obtained by an acidic method, wood mass with a high content of lignin. Most of these factors depend on the cardboard storage conditions, but we will pay more attention to the composition, namely the fiber composition.

The degree of delignification or Kappa number is one of the most important characteristics of the fibers, which shows the amount of lignin that is oxidized in the cardboard. According to the international standard for durable cardboard and paper ISO 9706-94, the value of this indicator should be less than 5 [1].

**The purpose of this work is to** study paulownia fibers in terms of aging and their use for long-term storage cardboard.

In the literature, sufficient attention is paid to the research of chemical processing of paulownia into fibrous semi-finished products, since it belongs to fast-growing trees.

The researchers determined the length of the fiber of paulownia wood, which is equal to 0.97 mm and is similar to solid wood, the average specific gravity, which is 0.35 g/cm<sup>3</sup>.

After boiling paulownia at a temperature of 163–171 °C, for 120–150 min and with an alkali concentration of 200 g/kg of wood, pulp with a Schopper–Rigler degree of 23.2 °SR and a tensile index of 36.0 kN·m /kg [1, 4].

Since paulownia wood is becoming more and more widespread and, by its structure, is a promising raw material for obtaining semi-finished products, we conducted a study on the use of paulownia fibers in the manufacture of cardboard intended for the preservation of documents [2, 3].

Methodology of delignification. Chips with dimensions of 30x8x2 mm were subjected to delignification by the sodium method at the consumption of active alkali of 20% per unit. Na<sub>2</sub>O from the mass of abs.dry raw materials. Cooking time 180 minutes; temperature 180 °C (temperature rise 50 min). Quality indicators of fibrous semi-finished products are given in Table 1.

Table 1 – Quality indicators of the obtained fibrous semi-finished product

Entrance, %	Lign , %	Physical and mechanical indicators of quality			
		Breaking force, gs	Breaking length, m	Absolute resistance to tearing, N	strength during repeated bending, n.d.i.
45,57	8.5	11400	7000	112	> 9000

As can be seen from the data in the table, cellulose with high strength indicators was obtained, which can be compared with sulfate.

The obtained cellulose was used for the production of cardboard. Cardboard samples were made with a mass of 200 g/m<sup>2</sup>. To determine the resistance of fibers,

the samples were subjected to artificial aging at a temperature of  $105 \pm 2$  °C for 3, 6, and 9 days. The results of the research are given in table. 2.

Table 2 – Cardboard quality indicators after artificial aging

Duration of artificial aging, days	Physical and mechanical indicators of quality			
	Breaking force, kgf	Breaking length, m	Absolute resistance to tearing, N	strength during repeated bending, k.p.p.
0 days	34	10900	333	9300
3 days	30	9400	295	4400
6 days	22	7000	213	3
9 days	14	4400	141	2

As can be seen from the obtained data, the greatest decrease is observed for the breaking strength index during multiple bending, and the breaking length index retains a third of its values.

Based on these results, it can be concluded that paulownia fibers can be successfully used in a composition with long-fiber cellulose for the production of cardboard with a long shelf life.

#### **Список літератури:**

1. M. Hakan Akyildiz and Hamiyet Sahin Kol. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. *Journal of Environmental Biology*, 31 351-355 (May 2010).
2. А.М. Денисенко, С.Ю. Яценко, Р.І. Черьопкіна. **Павловнія для целюлозо-паперової промисловості**. Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (20 - 21 травня м. Київ, Україна,

2021 р.)/ Укладач Д. Е. Бенатов. — К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. — С. 153 – 156.

3. R. Cherepkina, S. Yatsenko, A. Denysenko. Semicellulose from paulownia in cardboard composition. // Збірник тез доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (06-08 грудня 2021 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. С. 125 – 128.

4. Francisco López, Antonio Pérez, Minerva A.M. Zamudio, Hugo E. De Alva, Juan C.García. Paulownia as raw material for solid biofuel and cellulose pulp. – Biomass and Bioenergy Volume 45, October 2012, Pages 77-86.



UDC 676.274

## **ALKALINE DELIGNIFICATION OF PAULOWNIA WOOD**

R. Cherepkina, Assoc. Prof., S. Yatsenko, master, A. Denysenko, Ph.D. student  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### *Summary*

*Distinguishing features of the sulfate and sodium methods of wood delignification are presented. Features of promising Lo-Solids technology are shown. Natron boiling of paulownia wood is proposed.*

## **ЛУЖНА ДЕЛІГНІФІКАЦІЯ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ**

Р. Черьопкіна, доцент, С. Яценко, магістр, А. Денисенко, аспірант  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### *Анотація*

*Наведено відмінні особливості сульфатного та натронного способів делігніфікації деревини. Показано особливості перспективної технології Lo-Solids. Запропоновано натронне варіння деревини павловнії.*

The global production of pulp is currently focused mainly on the sulfate method, which is easily explained by the specific features of this semi-finished product.

From an economic point of view, almost all types of wood can be processed using the sulfate method, including those with a high resin content, sawmill waste, and non-wood species. The obtained fibrous semi-finished products are characterized by high paper-making properties compared to other methods, including the sodium method.

However, due to harmful gas emissions in the form of sulfur-containing compounds, which are formed during cooking at sulfate-cellulose plants, this production cannot be considered environmentally safe. It should be noted that recently leading companies have been modernizing their production by using the technology of more selective modified sulfate cooking with the deepening of delignification of raw materials, as well as reducing emissions of toxic substances into the environment [1]. Lo-Solids technology [1] can be attributed to such progressive and industrially implemented methods. Its essence consists of the partial selection of the spent solution after a certain technological operation and its replacement with a cooking solution, which reduces the course of side reactions between the carbohydrates of the wood residue and the dissolved substances of the spent cheek. Such methods provide an increase in the strength of the semi-finished product, shorten the duration of delignification and reduce the cooking temperature.

Studies have proven that less destruction and dissolution of carbohydrates during sulfate cooking is explained by the lower alkalinity of sulfate lye compared to sodium lye at the same concentration of active alkali. The peculiarity of sodium sulfide during cooking is reduced to maintaining alkalinity due to its hydrolysis and preserving cellulose from destruction by alkali.

In the case of alkaline cooking by both sulfate and sodium methods, lignin dissolves and goes into solution only under the action of NaOH, which is the same for both methods.

However, delignification during sulfate cooking begins in the secondary wall and ends in the middle plate. The lignin of the middle plate and the lignin located in the corners between the cells begin to dissolve intensively only after the removal of approximately 50 % of all lignin. After the removal of approximately 90 % of the lignin, the rate of delignification drops sharply, and the cellulose begins to break down and dissolve.

During sodium cooking, unlike sulfate cooking, delignification practically stops after about half of the lignin goes into solution, which is explained by the predominance of lignin condensation processes, which is accompanied by their transformation into larger fragments and thus prevents its dissolution.

During sodium cooking, in contrast to the sulfate method, the active groups of lignin are not protected from condensation, so the condensation processes prevail over the destruction processes. Many researchers are engaged in solving this issue.

The analysis of scientific publications shows that more and more attention is paid to sodium fermentation, which can be an alternative to the sulfate method due to the absence of sulfur compounds in the solution and obtaining comparable and even better strength indicators, provided that various additives are added [2]. In the article, Brazilian scientists propose to use anthraquinone, increased concentration of sodium hydroxide, surface-active substances, and liginosulfonate during sodium cooking of eucalyptus as additives.

Eucalyptus wood is delignified using Lo-Solids technology. This process was chosen because it is most commonly used in new pulp mills. For comparison, cooking was carried out with sulfate and sodium spray. It is shown that to achieve the same degree of delignification, using the sodium method, it is necessary to use higher amounts of active alkali and a higher temperature. However, the additives used during cooking were effective, both individually and in combination, and improved the cooking of sodium cellulose, and the yield of its pulp was 0.6 % higher than that of the sulfate method.

**The purpose of this work** is to use the sodium cooking method for the delignification of paulownia wood.

Boiling of wood chips was carried out in laboratory autoclaves. The boiling solution was prepared with consumption of active alkali of 14 %, 18 %, and 22 % in units of  $\text{Na}_2\text{O}$  by weight of absolutely dry raw materials Impregnation was

carried out for 45 minutes, gradually raising the temperature to 150 °C, and cooking at the final temperature for 60 minutes and 90 minutes. The obtained results of the quality of semi-finished products are shown in the table.

From the data in the table, it can be seen that with an increase in the consumption of active alkali, the yield of semi-finished products naturally decreases, the content of residual lignin, and the strength indicators increase. It should also be noted that the duration of cooking for the same consumption of active alkali has a greater influence on the degree of delignification and the physical and mechanical properties of the semi-finished products obtained. The output of semi-finished products is semi-cellulose, which can be recommended for packaging types of cardboard and paper.

Table – Quality indicators of semi-finished products obtained by the sodium method at different consumptions of active alkali and a temperature of 150 °C

Duration of cooking at the final temperature, min	Consumption of active alkali, %	Yield, %	Lignin, %	Physical and mechanical indicators			
				Breaking length, m	Tear resistance, mN	Absolute compression resistance, kPa	Breaking strength during repeated bending, n.d.i.
60	14	88.9	19.7	7390	292	290	848
	18	81.4	17.6	9080	282	322	1230
	22	79.4	15.2	9300	300	365	1350
90	14	88.0	18.5	9190	295	303	906
	18	69.2	15.6	9512	324	345	1525
	22	63.8	12.6	10130	426	418	1806

To deepen the degree of delignification of paulownia by the natron method, in further research, it is necessary to use the experience of Lo-Solids technology, as well as catalysts, surfactants, and other additives that improve wood penetration and enhance lignin destruction.

## **References**

1. ANDRITZ continuous Lo-Solids cooking. URL: <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/fiberline/continuous-cooking>.
2. Diego Almeida, José L. Gomide. Soda pulping with additives // 7<sup>th</sup> International Colloquium on Eucalyptus Pulp, May 26-29, 2015. Vitória, 2015. URL: [https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2015\\_Soda\\_Pulping\\_Additives.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2015_Soda_Pulping_Additives.pdf).

УДК 676.

### **THE USE OF THE FROTAPULPER APPLIANCE**

D. Porokhov, master, R. Cherepkina, associate professor,  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute»

#### *Summary*

*In the article are presented the advantages of using wrapping paper for metal products. The effectiveness of the use of knife-less devices such as Frotapulper for the preparation of cellulose for fibrillation is shown.*

### **ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТА FROTAPULPER**

D. Porokhov, master, R. Cherepkina, associate professor,  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute

#### *Анотація*

*Наведено переваги використання пакувального паперу для металевих виробів. Показано ефективність застосування безножевих апаратів типу Frotapulper для підготовки целюлози до фібрилювання.*

The role of paper as a packaging material has long been used by people in various fields. It is difficult to overestimate the role of paper in life, because at the stage of strong economic development, the issue of environmental protection is becoming very important. Based on the properties of easy recycling and biodegradability of paper, its usage provides maximum benefits both in packaging and disposal without harming the environment. One of the industries where packaging paper is widely used is mechanical engineering. For the transportation and storage of metal products, the goal is to protect them from corrosion, which is enhanced by moisture [1].

The industry produces special types of anticorrosive paper. The advantages of this paper are that combining the functions of packaging and preservation means, you can completely abandon the expensive and time-consuming preservation of metal products with oils and greases. The product, packed in anti-corrosion paper, is ready for use just after removing the packaging, which simplifies the work of deconservation.

The base for such paper is made using cellulose. To give the paper anti-corrosion properties, volatile corrosion inhibitors are added to the composition, or impregnated with paraffin, which makes it waterproof.

As a rule, the overall economic efficiency of the use of anticorrosive paper in the national economy, including the reduction of losses of metal products from corrosion, is up to 5 - 15 thousand UAH per 1 ton of paper. That is, 1 m<sup>2</sup> of anticorrosive paper costing 0.1 UAH gives a profit of up to 1.5 UAH [2,3].

The use of anticorrosive papers is still insufficient and satisfies no more than 10-20% of potential consumers of this paper. The task of expanding the production and consumption of this product necessary for the national economy is associated with solving the whole range of issues related to the organization of packaging, preservation, transportation and storage of metal products.

As for the technology of wrapping paper production, it is necessary to choose the right equipment and raw materials to ensure high quality and competitive products. The first stage is the preparation of pulp, that is, grinding, which requires the correct selection and use of equipment.

It should be noted that highly efficient disc mills are used for fibrillation of cellulose fibers, which leads to an increase in the strength of both individual fibers and paper in general. However, during grinding with the use of these devices there is a negative impact that leads to shortening of the fibers. Therefore, technologists and scientists are constantly looking for a balance between fibrillation of fibers and

reduction of their shortening. One of such solutions can be the use of knife-less apparatus in the grinding process. Such devices include Frotapulper (Fig. 1).

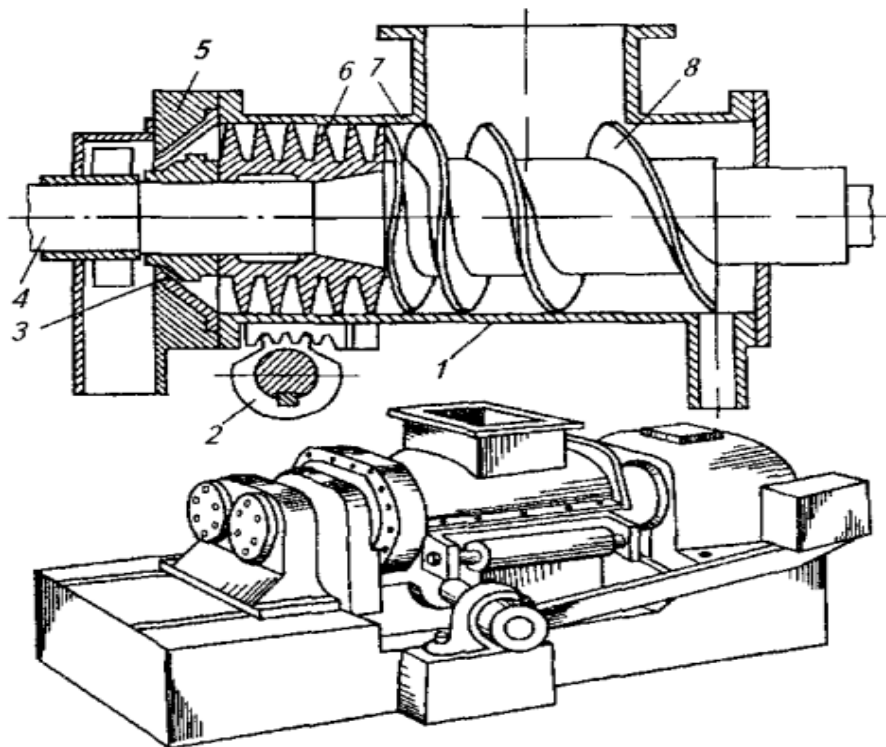


Figure 1 - Schematic diagram of Frotapulper

1 - body, 2 - mechanism for adjusting the discharge gap,  
3 - discharge gap, 4 - shaft, 5 - front cover, c - grinding screw, 7 - top cover, 8 - feed screw

The feature of this device is that the pulp at a concentration of 25...35 % abs. dry fiber is picked up by the coils and enters the processing zone. In the working gap between the turns of worms for grinding, there is an intensive processing of fibers under the action of compression and shear forces. There are significant friction forces of the fibers between each other and the metal surface inside the machine.

In this apparatus, normal forces with a slight shear have the main influence on the fibers in the interstrand gap. This effect leads to effective processing of the fibrous semi-finished product without significant shortening of the fibers.



The processed material is discharged through the annular gaps formed by the inner conical surfaces of the side cover and the blade screws. A lever-loading mechanism is used to automatically adjust the unloading of the processed mass. To improve the quality of processing the mass, the screws in the working area can be with special notches on the crests of the turns.

There are various modifications of the Frotapulper apparatus, for example, with screws with a reverse pitch at the end of the working part to delay the mass in the machine body, with adjustment of the inter-turn gap, with special rings instead of screws, etc.

The Frotapulper is used primarily as a fiber pretreatment machine before grinding in the production of packaging paper and board, for the treatment of waste paper, sorting waste and sulphate pulp. In the technological scheme, for example, sulphate coniferous pulp is firstly ground at a low concentration of 5...6% abs. dry fiber, then thickened and passed through the Frotapulper at a concentration of 30...32% abs. dry fiber. Final grinding also takes place at low concentration in disc mills [4].

#### **Література:**

1. [E. G. Stroud, W. H. J. Vernon](#) The prevention of corrosion in packaging. I. The use of sodium benzoate as a corrosion-inhibitor in wrappings Електронний ресурс. Режим доступу:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.5010020401>;

2. **Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технологія производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.**

UDC 676.24

## **CELLULOSE – AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF PACKAGING MATERIAL**

O. Орлова, master, R. Cherepkina, Assoc. Prof.,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### *Summary*

*An analysis of articles was carried out to determine the relevance of the production of cellulose-based packaging. The importance of ecological packaging is shown through the adoption of directives and laws to limit the use of plastic.*

## **ЦЕЛЮЛОЗА – АЛЬТЕРНАТИВНА СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАКУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ**

О. Орлова, магістр, Р. Черьопкіна, доцент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### *Анотація*

*Проведено аналіз статей для визначення актуальності виготовлення пакування на основі целюлози. Показано важливість екологічного пакування через прийняття директив та законів щодо обмеження використання пластику.*

Nowadays, non-degradable plastic packaging materials cause serious problems with environmental pollution and threaten human health. As the standard of living increases, consumers around the world are gradually switching to organic products, if possible, abandoning polyethylene and plastic.

The rapid development of the industry, caused, among other things, by the COVID-19 pandemic has led to the redistribution of cardboard and paper products in favor of packaging types. Therefore, packaging plays an important role in the life of each of us.

The use of biodegradable packaging materials can help solve the problem of waste accumulation and significantly improve the ecological state of the environment.

Analysis of search results in journals that are part of the Web of Science scientometric database, from 2019 to 2021, 10,254 scientific articles were published on cellulose-based materials, and 404, i.e. 3.94% of them, were related to the application of packaging [3]. In part, this pattern is explained by the fact that, for example, EU member states have created an action plan for the regulation and use of plastic and its full recycling cycle for the period from 2015 to 2020. However, to date, changes are being made to the EU directives regarding plastic recycling, as this issue requires constant review and control [1, 3].

The main disadvantages of using plastic packaging include the ecological burden on the environment, high economic costs, including oil. And these are only a number of disadvantages that packaging products based on plastic have in comparison with containers made of cellulose.

The question of alternative replacement of plastic and polyethylene with ecological packaging, which includes paper and cardboard, usually arises. The environmental friendliness of this packaging is primarily rapid biodegradation, composting, and low cost. According to manufacturers' forecasts, the cumulative annual growth rate of cellulose packaging production may reach up to 5% in the period from 2018 to 2028. Seventy percent of this growth is expected to come from the food and beverage sector [2].

Polish scientists in the article "Bacterial nanocellulose - a polymer on a biological basis for food packaging" reviewed recent discoveries in the use of cellulose in the biopackaging industry [3].

It is noted that bacterial nanocellulose has a wide range of applications in food packaging. In general, bio-based packaging should provide chemical, biological and mechanical protection of the product. In this regard, the main advantages of using bionanocellulose in the food industry are biodegradability, lack of toxicity, and high mechanical strength. The main advantage of this material over other biopolymers is the fact that the stationary bacterial culture has a full-sized, relatively thick membrane that exhibits high mechanical properties, which can only be used as the original packaging material after cleaning and drying [2].

As a result, the production of packaging based on nanocellulose is currently one of the most dynamically developed trends in the food industry, which has a positive effect on the environment, human health and the quality of the stored food product. Despite the fact that there are still many problems with BNC-based packaging materials, according to international and global conferences, approximately 62% of European consumers are willing to pay more for packaging that contains less plastic.

It is necessary to note significant positive changes in the attitude towards packaging in the form of paper and cardboard in our country. This position is embodied in the adopted law "On limiting the circulation of plastic bags in the territory of Ukraine" (Vidomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2021, No. 31, Article 252).

The law is aimed at reducing the volume of use of plastic bags in Ukraine, limiting their distribution in order to improve the state of the environment and beautify territories [4].

Now the question is not about reducing the circulation of plastic, but about refusing it in general, looking for alternative types of packaging for different types

of use. Therefore, the use of cellulose-based materials is promising and has enormous potential.

**Перелік посилань:**

1. Guide to Cellulose & Cellophane Packaging. Режим доступу: <https://www.goodstartpackaging.com/guide-to-cellophane-packaging/>
2. Karolina Ludwicka, Monika Kaczmarek and Aneta Białkowska. Bacterial Nanocellulose—A Biobased Polymer for Active and Intelligent Food Packaging Applications: Recent Advances and Developments. *Polymers*
3. Plastics and packaging laws in the european union. Режим доступу: <https://cms.law/en/int/expert-guides/plastics-and-packaging-laws/european-union>
4. Закон "Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України". Режим доступу: <https://www.rada.gov.ua/news/Povidomlennya/209243.html>

**UDK 66.09**

**Improvement of the waste sorting line of electronic and electrical equipment**

Master's student Ksenia Khoma<sup>1</sup>, Assoc. Prof. Halysh V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – **Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,**

<sup>2</sup> – **O.O. Chuiko Institute of Surface Chemistry of NASU**

In this paper the possibility of improvement of the waste sorting line of electronic and electrical equipment was established. Brominated flame retardants are a harmful component of plastics. Effective recycling of secondary polymer materials is associated with effective removal of materials that contain brominated flame retardants. It is necessary and urgent to develop an effective method of their identification in order to remove them from the technological process and prevent their repeated processing.

Keywords: sorting, polymers, waste, recycling, utilization.

В даній роботі встановлено можливість вдосконалення лінії сортування відходів електронного та електричного обладнання. Бромовані антипірени є шкідливим компонентом пластмас. Ефективна переробка вторинних полімерних матеріалів пов'язана з ефективним видаленням матеріалів, які містять бромовані антипірени. Необхідною та актуальною є розробка ефективного способу їх ідентифікації з метою їх вилучення з технологічного процесу недопущення повторного їх перероблення.

Ключові слова: сортування, полімери, відходи, переробка, утилізація.

Plastics are considered persistent pollutants, most of which are non-biodegradable, and the production and use of biodegradable plastics still needs to be thoroughly investigated, as not all of them are fully biodegradable in the NS. Non-biodegradable polymers can be degraded by physical and chemical factors,

and the effect of the above degradation mechanisms is brittleness and fragmentation of polymers into smaller parts.

Polymers have many properties, which makes them an attractive and irreplaceable material for various fields of application, but this variety also leads to a diverse flow of waste, a significant part of which enters the environment and becomes the cause of various negative ecological, economic and social consequences. This state of affairs gave impetus to the formation of strict legislation established by the European Union, according to which 50% of plastic packaging must be recycled by 2025 and 55% by 2030.

At the European level, the policy of greening is actively implemented in the context of the fight against excess plastic. Ukraine took the first step in the fight against the excessive use of plastic by adopting the Law "On Limiting the Circulation of Plastic Bags in the Territory of Ukraine" dated June 1, 2021, which is aimed at reducing the volume of use of plastic bags, limiting their distribution on the territory of Ukraine, as well as stimulating the development of the production of biodegradable plastic bags.

Brominated flame retardants (BFRs) are not only found in many household, medical and consumer products, but are now ubiquitous in our environment. Over the past decade, scientists have detected BFRs in human and wildlife tissues, as well as in house dust, sediment, sewage sludge, air, soil, and water samples in the United States, Canada, northern Europe, Taiwan, and Japan.

It is necessary to modernize the existing sorting lines for secondary polymer materials to remove from the processing the polymers containing flame retardants. For this purpose, it is necessary to develop an effective method of their identification. IR spectroscopy can be used to identify flame retardants in polymeric materials.

The aim of the present work was to investigate the process of IR identification of flame retardants in polymer materials with different concentrations of harmful compounds.

Polystyrene was used as a starting material. 3,3',5,5'-tetrabromobisphenol A with a concentration of 97% was used to modify polystyrene. The structure of tetrabromobisphenol A is shown on Fig. 1. This compound is formed by the reaction of bromine with bisphenol A. Its flame retardant properties are related to the percentage of bromine. Annual consumption in Europe is estimated at 6,200 tons in 2004.

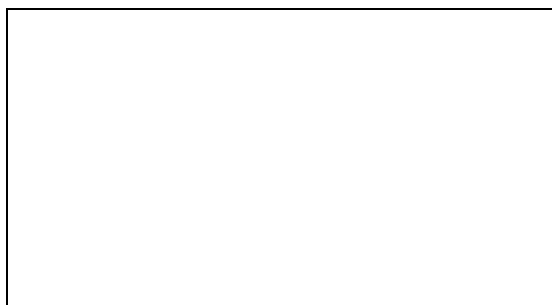


Figure 1 – Structure of tetrabromobisphenol A.

Plastic of  $3\text{g} \pm 0.05\text{g}$  and 3,3',5,5'-tetrabromobisphenol A required to create a sample of the given composition were weighed on analytical scales. An aliquot was poured into a cell with a heater. A thermocouple connected to a multimeter is installed in the hole in the cell to control the temperature of the cell. A voltage of 150 V is set until the cell reaches a temperature 15 degrees below the required temperature. After that, the voltage is reduced until the constant value of the temperature is set on the multimeter (during the setting of the constant value, the temperature will still rise). During 10-20 minutes, maintain a constant temperature of product softening. After the sample has softened, the tablet was pressed at the pressure in the range from 10 to 15 atm for 15 minutes. Then the voltage was turned off and the temperature was reduced to 50 °C. After cooling



the cell to room temperature, the sample was removed and analyzed on a spectrophotometer. In this way, the minimum concentration of 3,3',5,5'-tetrabromobisphenol A that can be identified on the IR spectrum was determined.

Thus, it can be concluded that infrared spectroscopy can be effectively used in the process of sorting polymer waste from electronic and electrical equipment for the effective removal of polymer materials containing 3,3',5,5'-tetrabromobisphenol A. The conducted research opens up new ways of modernizing the existing sorting lines.

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

<b>PECULIARITIES OF MOVEMENT OF FLOODED GAS JET IN DISPERSE SYSTEMS</b>	
Kornienko Y.M., Haidai S.S., Yevziutin P.Y, Sameliuk O.V.	6
<b>MILK PROTEIN AND PRODUCTION EQUIPMENT</b>	
Marchevskii V., Shashkov V., Glibovets S.	11
<b>MODERNIZATION OF THE DRUM DRYER OF THE SALT PRODUCTION INSTITUTION</b>	
Boichuk Y., Stepaniuk A., Sachoc R.	14
<b>УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КАРТОН</b>	
Возович А., Галиш В.	18
<b>MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN ETHANOL PRODUCTION PLANT</b>	
Husarova O., Snezhkin Yu., Yanitsky V.	22
<b>ROCESS OF COMBINED CAPTURE OF HIGHLY DISPERSED ARTICLES AND WATER VAPOR</b>	
Dmytruk A.V., Stepaniuk A.R.	29
<b>ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ РОСЛИННОЇ БИОМАСИ ДЛЯ ГІДРОЛІЗУ ЗА МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ</b>	
Ободович О.М., Сидоренко В.В.	34
<b>MODERNIZATION OF THE PLANT FOR THE PRODUCTION OF COMPLEX ADDITIVES FROM THE SALT MELT WITH THE EXPANSION OF THE EVAPORATION APPARATUS</b>	
Lapin Y., Huliienko S., Marchevskiy V. M.	39
<b>MODERNIZATION OF PETROL CLEANING PLANT WITH DEVELOPMENT OF RECTIFICATION COLUMN AND STEAM GENERATOR</b>	
Lytvyn O., Ivanytskyi G., Stepaniuk A.	44
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ</b>	
Цюпяшук А.М., Костогриз К.П., Хвастухін Ю.І.	49
<b>ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В МОБІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРАХ</b>	
Коник А.В., Хоменко М. В.	53

---

<b>ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ МОСТОВИХ СПОРУД</b>	
<i>Рубльов А.В.</i>	59
<b>МОРФОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯГІД ЛОХИНИ ЯК ОБ'ЄКТА СУШІННЯ</b>	
Слободянюк К.С., Петрова Ж.О., Граков О.П.	62
<b>HEAT PUMP UNITS IN DRYING EQUIPMENT</b>	
Slobodianiuk K,	66
<b>СУШІННЯ БІШОФІТУ</b>	
Марчевський В.М. Студент Зуєв О.О.	69
<b>DEVELOPMENT OF DRYER FOR CASEIN</b>	
Marchevskiy V., Glibovets S., Shashkov V.	72
<b>СУШАРКА ДЛЯ БІШОФІТУ</b>	
Марчевський В.М. Квецко А.Л.	75
<b>ІНОВАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ-ОСНОВИ ДЛЯ ХАРЧОВОГО ПЕРГАМЕНТУ</b>	
Серьогін В. С., Гондовська А. С., Трембус І. В.	77
<b>DRUM DRYER AS A MODERNIZATION IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF COKE PRODUCTION FACILITY</b>	
Solomianiuk D., Stepaniuk A.	81
<b>MODERNIZATION OF THE AIR COOLER OF THE GAS FRACTIONATION UNIT</b>	
Turkevych Y.V., Podiman H.S.	85
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ ВИПАРОВУВАННЯ НАНЕСЕНИХ НА ПОРИСТОМУ СУБСТРАТІ НА</b>	
Гоцький Я. Г., Степанюк А. Р., Іваницький Г.К.	89
<b>АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОЛОЇДНИХ КАПЛЯРНО- ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ БІОЛОГІЧНОЇ ПРИРОДИ</b>	
Самойленко К.М.	95
<b>ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВТРАТ ВОЛОКНА У ВИРОБНИЦТВІ КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ</b>	
Вилку Ю., Якименко О., Барбаш В.	98
<b>ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КАРТОНУ ТАРНОГО ВОЛОГОСТІЙКОГО</b>	
Горяной В.А., Дейкун І.М.	102
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПУСКУ МАКУЛАТУРИ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ДЛЯ ГОФРУВАННЯ</b>	
Дажук О., Мовчанюк О.	105
<b>VELOCITY IN THE SECOND SUBZONE OF DISC EXTRUSION PROCESS</b>	
Novodvorskiy V., Shved M.	110

---

<b>ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ДОПОМІЖНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КАРТОНУ ДЛЯ ПЛОСКИХ ШАРІВ ГОФРОКАРТОНУ</b>	
Вилку Ю., Якименко О., Барбаш В.	112
<b>CALCULATION EXTRUSION PARAMETERS IN THE MATRIX CHANNEL DURING THE PROCESSING OF GRAIN MIXTURES</b>	
Ivanitskyi G., Tselen B., Nedbaylo A., Radchenko N.	117
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКІСТІ ВОДОВУГІЛЬНОЇ СУСПЕНЗІЇ В УМОВАХ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ</b>	
Іваницький Г., Целень Б., Недбайло А., Радченко Н.Л., Щепкін В.В.	120
<b>FEATURES OF THE PROCESSING OF THE MIXTURE BASED ON SOYBEANS AND CORN IN THE CHANNEL OF THE EXTRUDER MATRIX</b>	
Ivanitskyi G., Tselen B., Nedbaylo A., Radchenko D.	123
<b>CALCULATION EXTRUSION PARAMETERS IN THE MATRIX CHANNEL DURING THE PROCESSING OF GRAIN MIXTURES.</b>	
Ivanitskyi G., Tselen B., Nedbaylo A., Radchenko D.	126
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОНИ ОЧИЩЕННЯ МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ</b>	
Дахненко В.	129
<b>MECHANISM OF STRUCTURE FORMATION OF GEOPOLYMER MATERIALS</b>	
Sobchenko V., Khvastukhin Yu., Zhaivoronok V., Sobchenko A.	135
<b>MODERNIZATION OF THE BENZENE PRODUCTION FACILITY WITH THE DEVELOPMENT OF A TUBULAR CATALYTIC REACTOR AND HEAT EXCHANGER</b>	
Mudryk M., Stepaniuk A.	140
<b>MODELING OF KINEMATICS MIXING OF POLYMER MELTS IN THE HOMOGENIZATION ZONE OF DISK EXTRUDER</b>	
Trachuk Y., Novodvorskyi V., Shved M.P.	144
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ КОЛОЇДНИХ КАПЛЯНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ В ТУНЕЛЬНІЙ СУШАРЦІ</b>	
Пазюк В., Вишневецький В., Вишневецька Т.	151
<b>УСТАНОВКА ВИРОБНИЦТВА АЛКИЛ-БЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ РЕАКТОРА-АЛКІЛАТОРА ТА ТЕПЛООБМІННИКА</b>	
Chernuh I., Stepaniuk A.	156
<b>ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ТА МІСЬКИХ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ В ЯКОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА</b>	
Чмель В., Новікова І.	161
<b>THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF BARIUM CHLORIDE REMOVAL BY REVERSE OSMOSIS</b>	
Yasenchuk V., Huliienko S.	166

---

<b>OPTIMIZATION OF LOGISTIC SOLUTIONS IN THE ORGANIZATION OF ENERGY USE OF SMALL-DIAMETER WOOD - THE MAIN FACTOR OF ECONOMIC EFFICIENCY</b>	
Belyaeva I., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V.	170
<b>MILK PROTEIN AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION</b>	
Marchevskiy V., Glibovets S., Shashkov V.	173
<b>DEHYDRATION OF SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS</b>	
Husarova O., Snezhkin Yu.	176
<b>MILK PROTEIN AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION</b>	
Marchevskiy V., Glibovets S.,	180
<b>PHYSICAL MODEL OF ZEOLITE DRYING PROCESS BY COMBINED RADIATION-CONVECTIVE FILTRATION METHOD</b>	
Kushniruk V., Novokhat O.	183
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ</b>	
Петрова Ж., Новікова Ю., Петров А.	187
<b>THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF BARIUM CHLORIDE REMOVAL BY REVERSE OSMOSIS</b>	
Yasenchuk V., Hulienko S.	190
<b>THE MODERNIZATION OF THE EXPERIMENTAL SET-UP FOR THE DETERMINATION OF CONCENTRATION POLARIZATION LAYER RESISTANCE DURING REVERSE OSMOSIS</b>	
Virysh S.I., Hulienko S.V.	194
<b>PAPER IS THE MAIN COMPONENT FOR THE PRODUCTION OF PACKAGING MATERIALS FOR THE FOOD INDUSTRY</b>	
Gondovskaya Anna, Ploskonos V.G.	199
<b>PAPER IS THE BASIS FOR THE PRODUCTION OF FILLED PARCHMENT FOR THE FOOD INDUSTRY</b>	
Seryogin Vladislav, Ploskonos V.G.	203

## СЕКЦІЯ 2

### «ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»

<b>ЕКСТРАКЦІЯ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ВОЛОКОН КОНОПЕЛЬ</b>	
Килюшик Т. І, Якименко О. С., Барбаш В. А.	208
<b>ЗАСТОСУВАННЯ КИСЛОТ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОЛІСТИРОЛЬНИХ МЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРІВ СИСТЕМ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ</b>	
Карпенко М.	213
<b>МЕМБРАННА ДИСТИЛЯЦІЯ, ЯК ОДИН ІЗ МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ВОДИ</b>	
Глушук В., Трембус І.	217

<b>ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ ТА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД</b>	
Рубльов А., Величко Н., Вялих Т..	221
<b>ECOLOGICAL EXTRACTION OF VEGETABLE RAW MATERIAL USING IONIC LIQUIDS</b>	
Mykhailenko N., Trembus I.	221
<b>ARTIFICIAL AGING OF PAULOWNIA FIBERS</b>	
Chernyshenko D., Cherepkina R.	228
<b>ALKALINE DELIGNIFICATION OF PAULOWNIA WOOD</b>	
Cherepkina R., , Yatsenko S., Denysenko A.	233
<b>THE USE OF THE FROTAPULPER APPLIANCE</b>	
Porokhov D., Cherepkina R.	238
<b>CELLULOSE – AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF PACKAGING MATERIAL</b>	
Orlova O., Cherepkina R.	242
<b>IMPROVEMENT OF THE WASTE SORTING LINE OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL EQUIPMENT</b>	
Khoma K., Halysh V.	246

### **Рішення**

XXIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених.

«Ресурсоенергозберігаючі технології і обладнання»

На заключному пленарному засіданні конференції було прийнято наступне рішення:

1. Роботу Ради молодих вчених Інституту технічної теплофізики ІТТФ НАН України, Організаційного комітету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інституту Газу НАН України та Програмного комітету з підготовки та проведення заходів у рамках міжнародної науково-практичної конференції «РЕСУРСОЕНЕРГО-ЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ» схвалити.

2. За результатами обговорення представлених на конференції доповідей визнати перспективність виконаних досліджень та схвалити доцільність подальшого розвитку та поглиблення наукових розробок у відповідних наукових напрямках, що визначені в проблематиці конференції.

3. З метою створення науково-методологічних основ вивчення основних ресурсоенергозберігаючих заходів, обладнання теплотехнологій та хімічних технологій в Україні рекомендується залучити матеріали конференції до дисциплін «Основні процеси та обладнання ресурсоенергозберігаючих технологій» та «Сучасне обладнання хімічних технологій» з розробкою відповідного методичного забезпечення.

4. Підвищити рівень залучення студентів, аспірантів до наукових досліджень України в галузі ресурсо- та енергозбереження.

5. Видати збірник праць конференції.

6. Рекомендувати публікацію пленарних доповідей в журналах «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», «Хімічна промисловість України» та «Промислова теплотехніка». Просити голів секцій конференції визначити доповіді від секцій для опублікування в «Українському антарктичному журналі». Учасникам конференції представити рекомендовані доповіді у вигляді публікацій згідно правил публікацій відповідних журналів.

7. Визначити за доцільне поширення інформації про конференцію в засобах масової інформації та залучення до наступних конференцій широкого кола вітчизняних і іноземних науковців.

8. Організатори конференції висловлюють вдячність всім учасникам конференції.

Виконуючий обов'язки завідувача кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробничих виробництва

А.Р.Степанюк