



**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 XXII 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*

24-26 травня  
Київ 2022

УДК 66  
ББК 35.11я43  
Р 43

Збірник тез доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (24-26 травня 2022 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 158 с.

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

**"РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ОБЛАДНАННЯ"**

Рекомендовано до друку  
Вченою радою Інституту  
технічної теплофізики  
НАН України  
Протокол № 8  
від 31 травня 2022 р.

Рекомендовано до друку  
Кафедрою машин та апаратів  
хімічних  
і нафтопереробних виробництв  
Протокол № 19  
від 23 травня 2022 р.

**Тези опубліковано за авторською редакцією.**

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Снесжкін 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
- Зубрій О. Г.** 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»**

**MATHEMATICAL MODEL OF EVAPORATION OF LIQUID FILM OF SOLUTION ON THE SURFACE OF A SPHERICAL GRANULES**

Ph.D. student Hotskyi Y. H., associate professor, Ph.D Stepaniuk A. R.,  
professor Ivanytskyi H.K.

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

***ABSTRACT.***

*A mathematical model of the liquid film evaporation process on a solid spherical granule is presented. Numerical calculation of the mathematical model of the process of evaporation of the liquid film from the heated spherical granule in the air flow is carried out.*

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

***АНОТАЦІЯ.***

*Наведено математичну модель процесу випаровування рідинної плівки на твердій сферичній гранулі. Проведений числовий розрахунок математичної моделі процесу випаровування рідинної плівки з нагрітої сферичної гранули у потоці повітря.*

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

The process of crystallization of heterogeneous solutions in the case when the driving force is the difference in the concentration of solute is achieved by removing the solvent from the solution, usually by evaporation [1-4].

In the general case, the mathematical model describes the processes of heating, evaporation and crystallization of the liquid film on the surface of the granule in each period of the dehydration process. Therefore, the mathematical model is divided into evaporation and heating of the solution film on the surface of the granule in the first and second period, when the film has no phase transition, in the case when the concentration of solute is less than the saturation concentration  $c_s < c_{sat}$ .

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

The process of evaporation of the film on the surface of the granule is considered in a spherical coordinate system  $(r, \theta, \varphi)$ , the center of coordinates is in the center of the granule, (Figure 1). It is assumed that due to spherical symmetry the parameters of the liquid phase inside the liquid film and the parameters of the state of the surrounding gaseous medium do not depend on the angular coordinates  $\theta$  і  $\varphi$ . Heat and mass transfer occurs only in the radial direction, which allows to solve the problem in one-dimensional formulation.

Mathematical modeling of the dehydration process is significantly complicated due to changes in the geometry (thickness) of the film during evaporation, which requires the use of more energy-intensive calculations. The offered mathematical model on the basis of the equation of heat balance allows to simplify calculation of mathematical model of processes of dehydration, change of thickness and temperature of a film [4, 5]. To do this, we assume the assumption of a small temperature gradient  $\partial T_f / \partial r = 0$ . The scheme for the mathematical model is shown in the figure 1.

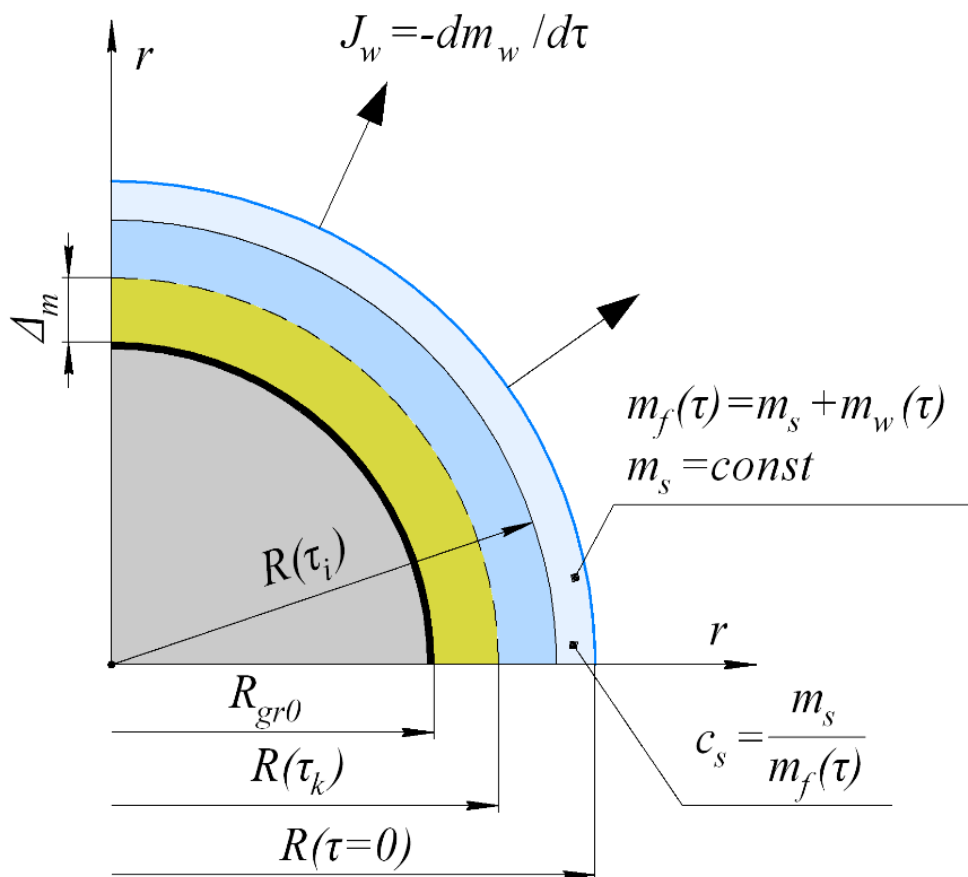


Figure 1 – Scheme for calculating the mathematical model

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

The following are the equations describing the process of evaporation of a layer of aqueous ammonium sulfate solution on the surface of a solid spherical heated granule with an initial radius  $R_{gr0}$  in the first period of drying without taking into account the phase transition in which the limiting stage is the growth of the internal resistance of mass transfer.

The mathematical model consists of a system of simple first-order differential equations. The mass transfer during evaporation between the liquid film on the surface of the granule and the external environment is described by equation (1), equation (2) describes the change in the radius of the film, (3) – change in film temperature during evaporation and (4) – solute concentration:

$$J_w = -\frac{dm_f}{d\tau} = 4\pi R^2 \cdot k_M (\rho_{sat}(T_l, \bar{c}_s) - \rho_{v\infty}), \quad (1)$$

$$\frac{dR(\tau)}{d\tau} = -\frac{1}{4\pi R(\tau)^2 \rho_l(T, c)} \cdot \frac{dm_f}{d\tau} \quad (2)$$

$$\frac{dT_f}{d\tau} = \frac{4\pi R_{gr0} \lambda_l \cdot [T_{gr} - T_f(\tau)] + 4\pi R^2 \alpha_{gl} [T_g - T_f(\tau)] - \frac{dm_f}{d\tau} \cdot [L - C_{pl} T_f(\tau)]}{m_f(\tau) \cdot C_{pl}} \quad (3)$$

$$\frac{d\bar{c}_f}{d\tau} = -c_0 \frac{m_{f0}}{m_f^2(\tau)} \cdot \frac{dm_f}{d\tau}, \quad (4)$$

With the following initial conditions:

$$m_f(0) = m_{f0}; R_{gr}(0) = R_{gr0}; T_f(0) = T_{f0}; c_s(0) = c_{s0}$$

The numerical solution of this model using the Euler method according to an explicit scheme was performed in the Mathcad software environment. To compare the results, a calculation was performed for two options, to establish the effect of convective heat transfer from the environment and thermal conductivity from the heated pellet. The initial data for the calculation are shown in table 1.

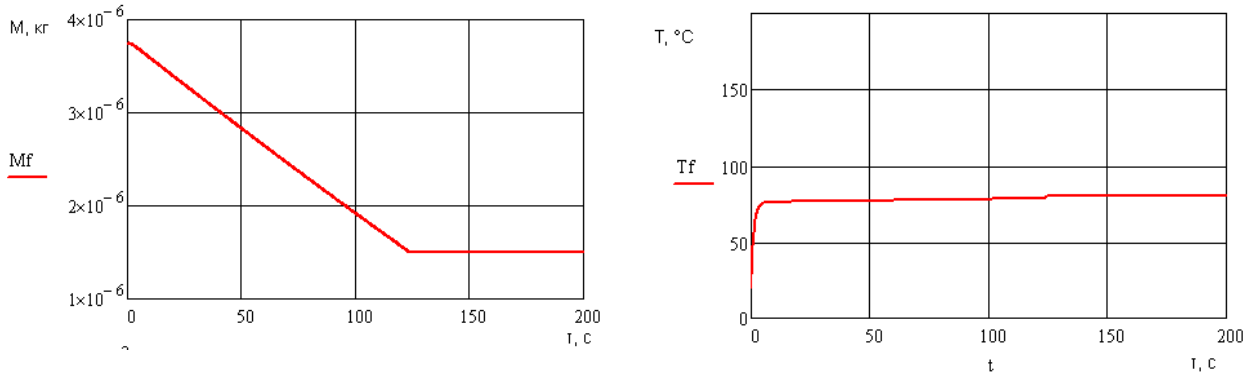
**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**

Table 1 - Initial parameters

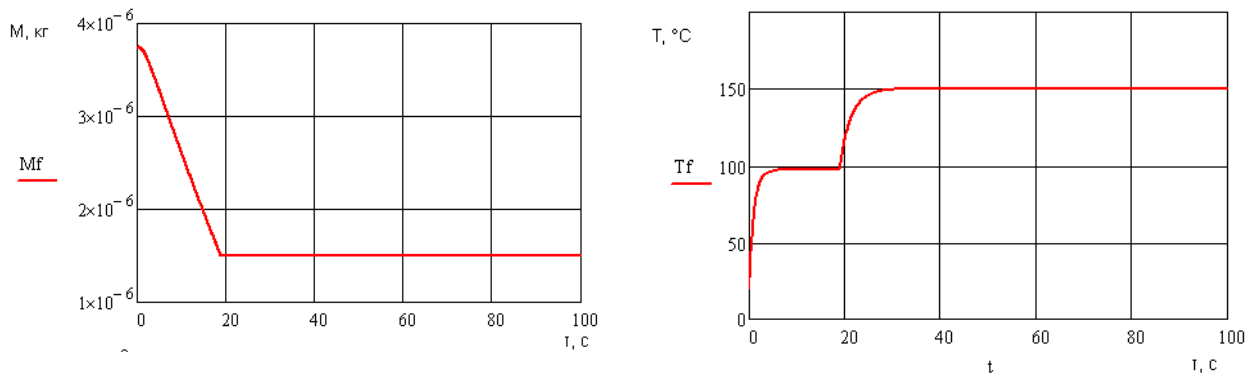
Parameter	Unit of measurement	Calculation 1	Calculation 2
The initial temperature of the solution	°C	20	
Air temperature	°C	30	150
The temperature of the granule surface	°C	95	95
The diameter of the granules	m	$2 \cdot 10^{-3}$	
The thickness of the film at the initial time	m	$2 \cdot 10^{-4}$	
Average air flow rate	m/s	1,5	
Relative humidity	%	35	
Initial relative mass concentration	%	0,4	

Numerical calculations were performed for a spherical granule with a diameter of 2 mm and a liquid film thickness of  $0.1 \cdot d_{gr}$  at the same initial temperature of the solution film, which is 20 °C and the same average air flow rate of 1,5 m/s.

The obtained results of the calculation of the mathematical model indicate a significant influence of the convective component in the overall balance of heat provided in the film. The duration of the process of evaporation of the film at ambient temperature  $T_g = 30$  °C more than 6 times the evaporation process at air flow temperature  $T_g = 150$  °C. The obtained calculated results are shown in Figure 2.



a) Calculation 1



b) Calculation 2

Figure 2 – The results of mathematical modeling

**Conclusion.** A mathematical model of the process of evaporation of a thin liquid film on a heated spherical granule is formulated. The obtained calculations of the mathematical model require further comparison with experimental data to confirm the adequacy of the mathematical model. Also in the future in the mathematical model it is necessary to take into account the crystallization when reaching the concentration of supersaturation ( $c_s \geq c_{sat}$ ), as a result, the limiting factor become the internal diffusion resistance of mass transfer.

### References:

1. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Оптимизация процессов распылительной сушки. – Киев: Наук. думка. – 1984. – 240 с.
2. Ranz, W., Marshall, W. (1952) Evaporation from Drops. *Chemical Engineering Progress*, 48, 141-146.
3. Mezhericher, M., Levy, A., Borde, I. (2007). Theoretical drying model of single droplets containing insoluble or dissolved solids. *Drying technology*, 25(6), 1025-1032

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

4. 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>
5. Jubaer, H., Afshar, S., Xiao, J., Chen, X. D., Selomulya, C., & Woo, M. W. (2018). On the importance of droplet shrinkage in CFD-modeling of spray drying. *Drying Technology*, 36(15), 1785-1801

## **KINETICS OF CONVECTIVE DEHYDRATION OF MELON FRUITS**

Ph.D. Dmytrenko N., Ph.D. Husarova O., Ph.D. Shapar R.

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

***ABSTRACT.** The study of the process of convective drying of melon varieties Titovka and Valencia was carried out, energy-saving stage dehydration regimes were determined.*

**KEYWORDS:** STAGED DEHYDRATION, DRIED PLANT MATERIALS, MELON, ENERGY EFFICIENCY.

## **КІНЕТИКА КОНВЕКТИВНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ПЛОДІВ ДИНІ**

к.т.н. Дмитренко Н.В., к.т.н. Гусарова О.В., к.т.н. Шапар Р.О.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

***АНОТАЦІЯ.** Проведено дослідження процесу сушіння дині сортів "Титовка" та "Валенсія", визначено енергозберігаючі стадійні режими зневоднення.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СТАДІЙНЕ ЗНЕВОДНЕННЯ, СУШЕНІ РОСЛИННІ МАТЕРІАЛИ, ДИНЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Melons are traditionally grown in the eastern and southern regions of Ukraine. After the melon is harvested, so-called "waste" accumulates in the form of pulp left over after the seeds have been removed, as well as non-standard and unsold products (25 to 40%). Waste is a source of organic and microbial pollution. Drying is a common process in the technology of storage and processing of agricultural raw materials.

The main requirements for the process of drying melon fruits are intensity, efficiency, ensuring the most complete preservation of natural components of raw materials.

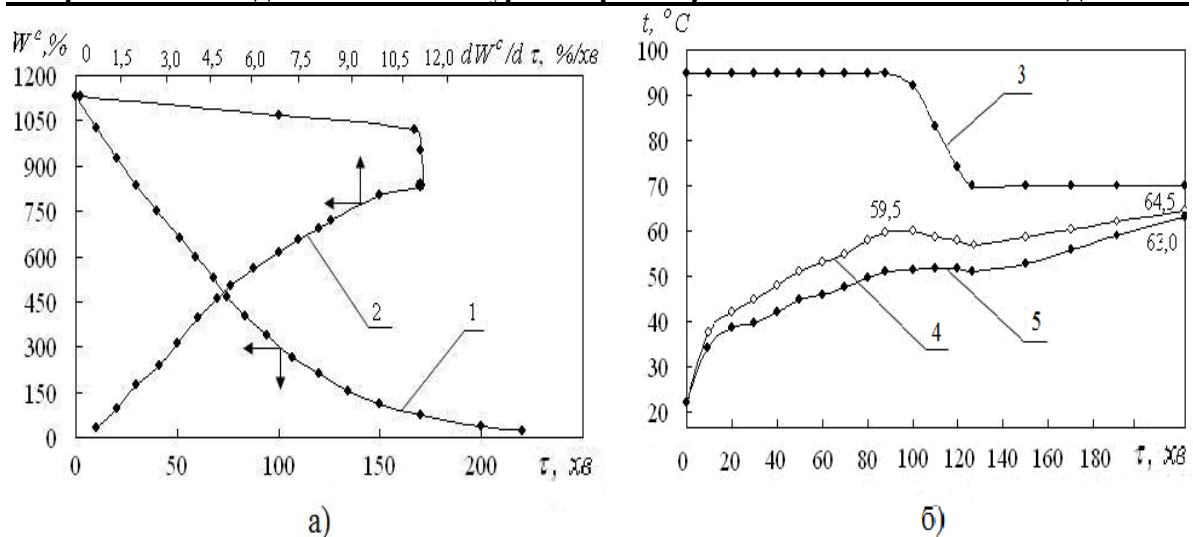


**The purpose of the work** is to develop energy-efficient modes of dehydration of melon fruits and its parts with maximum saving of natural nutrients of raw materials.

**Objects, equipment and research methods.** Titovka and Valencia melons, cut into 1.5...2.5 mm thick specimens, were selected as the object of the study. Establishing the laws of convective drying was carried out on an experimental stand with a system of automatic collection and processing of information based on the program "Sooshka".

**Results.** Comparative analysis of kinetic and velocity characteristics of moisture exchange kinetics at the parameters of the drying agent  $t = 95...70$  °C;  $V = 2$  m/s;  $d = 10$  g/kg of dry air proves (Fig. 1) that dehydration of melons takes place in periods of constant and decreasing speed. At the stage of heating, the drying rate increases to its maximum value of 10.8 %/min and remains constant until the material reaches the critical absolute humidity  $W^c = 835$  %, then the rate of dehydration of melon material gradually decreases (Fig. 1, a). The use of high temperature in the first stage of drying has a positive effect on the kinetics of moisture exchange, intensifying the process and reducing its duration. The use of staged mode prevents undesirable changes in the parenchymal material of melons and the destruction of thermolabile raw materials, because after reaching a material temperature of 59.5 °C (Fig. 1, b) the temperature of the drying agent was reduced from 95 to 70 °C and maintained at this level until drying [1, 2].

Dried melon meets the requirements developed by us TU U 15.3- 05417118-038: 2010 „Dried melon”. It is used throughout the year in the system of health nutrition as an independent high-vitamin product or as an ingredient in the preparation of various dishes.



**Figure 1** - Curves of kinetics of convective drying of melon (a), temperature of heat carrier and material (b): 1 – kinetics of drying  $W^c = f(\tau)$ ; 2 – drying speed  $dW^c/d\tau = f(W^c)$ ; 3 – coolant temperature; 4 – temperature of the outer layer of the material; 5 – temperature of the inner layer of the material [1, 2]

**Conclusions.** Based on the results of theoretical and experimental research, the technological process is optimized, energy-saving staged regimes of melon fruit drying are substantiated. Under these modes, the temperature of the material during dehydration does not exceed the maximum allowable value and provides a high degree of saving of the natural composition of raw materials, intensification of the process, reduction of energy consumption up to 25%.

### References:

1. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Обґрунтування режимів сушіння дині. Енергоефективність процесів сушіння: *Тематичний збірник статей* / за ред. Ю.Ф. Снежкіна, Р.О. Шапарь. Київ: Тропеа, 2021. Т.1. С. 43-47.
2. Дмитренко Н.В., Шапар Р.О. Конвективне сушіння цукровмісних паренхімних тканин дині. *Наукові праці ОНАХТ*. 2021. Т. 85. Вип. 1. С. 75-81. <https://doi.org/10.1673/swonaft.vi1.2073>

**MODERNIZATION OF RADIATION - CONVECTIVE  
INSTALLATION FOR ZEOLITE DRYING**

PhD student Kushniruk V.M., assistant professor Novokhat O. A.

**National Technical University of Ukraine**

**“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

**Abstract:** Modernization of the vibrating conveyor dryer with infrared emitters by changing the design is proposed. This increases the efficiency of moisture removal by bringing the convective component to effectively update the surface to increase the driving force for mass transfer.

**KEYWORDS:** ZEOLITE, INFRARED RADIATION, RADIATION - CONVECTIVE DRYING, VIBRATION CONVEYOR DRYER.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ РАДІАЦІЙНО – КОНВЕКТИВНОЇ УСТАНОВКИ  
ДЛЯ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ**

аспірант Кушнірук В. М., доцент Новохат О. А.

**Національний технічний університет України**

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

**Анотація:** Запропоновано модернізацію вібраційної конвеєрної сушарки з інфрачервоними випромінювачами, шляхом зміни конструкції. При цьому підвищується ефективність видалення вологи, шляхом підведення конвективної складової для ефективного оновлення поверхні для збільшення рушійної сили по масообміну.

**Ключові слова:** ЦЕОЛІТ, ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, РАДІАЦІЙНО – КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ, ВІБРАЦІЙНА КОНВЕЄРНА СУШАРКА.

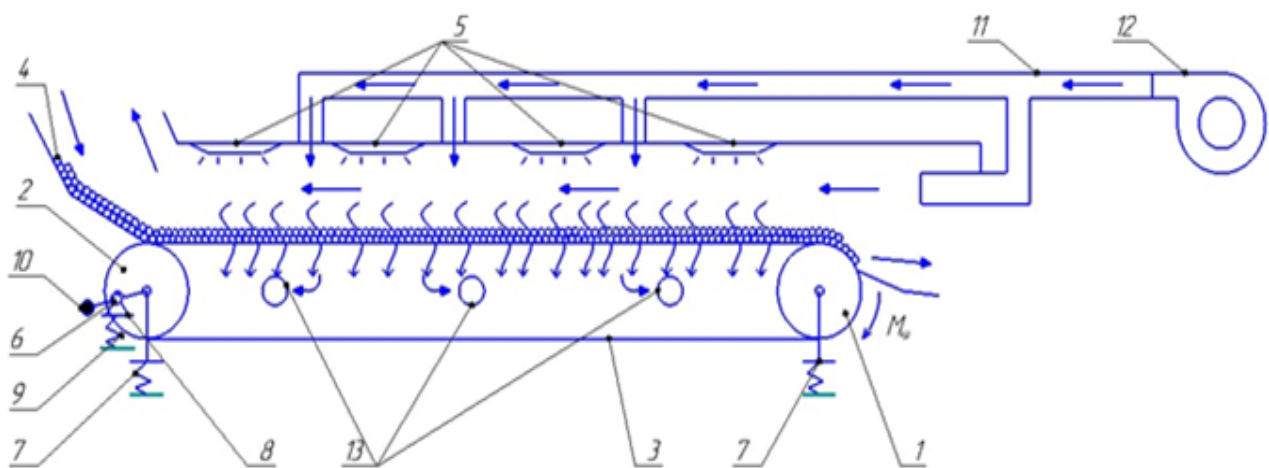
Vibrating conveyor dryer with infrared emitters belongs to the heat and mass transfer technology and can be used for drying bulk materials, as well as grain and

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
 seeds of crops in food, pharmaceutical, microbiological, chemical and other industries.

The closest in technical essence to the claimed utility model is a vibrating conveyor dryer with infrared emitters [1], which contains a mechanical vibrator, conveyor for moving bulk products, sections of infrared emitters, loading and unloading neck. Contains a deformed conveyor surface and an eccentric shaft with counterweights on the spring-loaded support units of the drive roller. The disadvantage of this dryer is that it does not effectively remove moisture from bulk materials, has a small driving force for mass transfer

The task for the modernization of the installation is solved by installing a fan on the side of the dryer, which supplies hot air to the air duct. The air duct is connected to the top of the dryer and to the side, opposite the conveyor belt and the material.

The modernized installation of the zeolite drying process is presented on Figure 1.



- 1 - the leading roller; 2 - support roller; 3 - conveyor belt;
- 4 - zeolite; 5 - infrared emitters; 6 - eccentric shaft;
- 7 - support unit of the vibrator; 8 - platform, 9 - elastic element,
- 10 - counterweights, 11 - air duct, 12 - air blast, 13 - ventilation shaft.

Figure 1 - Modernized installation of zeolite drying process

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

Vibrating conveyor dryer with infrared emitters consists of a master and support rollers 1 and 2, which are fixed conveyor belt 3 for moving products 4. Above the belt in its movement are four infrared emitters 5. Eccentric shaft 6 rests on the support node on the platform 8, which through the elastic elements 9 is connected to the installation frame. Counterweights 10 balance the inertial forces in the kinematic vibrator. Rollers 1 and 2 with support units are attached to the frame of the dryer, which rests on the vibrosupport. A air blast 12 is installed on the side of the dryer, which supplies hot air to the air duct 11. The air duct is connected to the top of the dryer and on the side. Warm moist air passing the material enters the ventilation shaft 13.

Therefore, such a change in the design of the dryer allows to reduce the moisture content in the bulk material, which increases the efficiency of its work.

**References:**

1. Palamarchuk I. P., Bandura V. M., Palamarchuk V. I., "Vibrating conveyor dryer with infrared emitters". Ukraine, IPC (2014.01) F26B 17/00, B01J 2/26 Patent not utility model UA 87767 U, 25.02. 2014

## ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН

Малащук Н.С., к. т. н. Дабіжа Н.О., д. т. н. Снежкін Ю.Ф.

Інститут технічної теплофізики НАН України

***АНОТАЦІЯ.** Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення м'яти перцевої. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від тепловологісних параметрів атмосферного повітря. Для створення контрольованих тепловологісних умов сушіння запропоновано зневоднювати пряно-ароматичні рослини в сушарках з замкненим циркуляційним контуром з застосуванням теплогенеруючого осушуючого теплонасосного агрегату.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СУШІННЯ, ПРЯНО-АРОМАТИЧНА СИРОВИНА, РЕЖИМИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

## TECNOLOGIES FOR DRYING SPICY-AROMATIC PLANTS

Malashchuk N., Ph. D. Dabizha N., Dr. Sc. Snezhkin Y.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

***ABSTRACT.** The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of peppermint has been studied. A significant dependence of the duration of the drying process on the heat and humidity parameters of atmospheric air was revealed. To create controlled heat and moisture drying conditions, it is proposed to dehydrate spicy-aromatic plants in dryers with a closed circulation circuit using a heat-generating dehumidifying heat pump unit.*

**KEYWORDS:** DRYING, SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS, MODES, HEAT PUMP, ENERGY EFFICIENCY.

**Мета.** Дослідження процесів зневоднення пряно-ароматичних рослин з метою визначення енергоефективних режимів сушіння, які забезпечують

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
максимальне збереження біологічно активних речовин і ефірних олій.

**Результати.** Пряно-ароматичні рослини використовуються для багатьох цілей як лікувальні засоби, приправи, ароматизатори, барвники тощо.

Важливим етапом в процесі заготівлі пряно-ароматичної сировини є сушіння. Для визначення гранично допустимої температури сушіння пряно-ароматичної сировини, що містить ефірні олії, проаналізовані експериментальні дані щодо впливу температури на вміст ароматичних речовин. Так, при підвищенні температури сушіння різко знижується вміст ефірної олії, також змінюється її склад. При 60 °С, відбуваються незворотні зміни в компонентах ефірних олій рослин. Тому температура сушіння пряно-ароматичної сировини не повинна перевищувати 30–45 °С [1].

Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення трави м'яти [1]. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від вологовмісту атмосферного повітря. Для створення контрольованих умов сушіння м'яти та підвищення енергоефективності процесу зневоднення запропоновано використовувати конденсаційний метод сушіння з застосуванням теплового насоса.

**Висновки.** Розроблені енергоефективні режими сушіння пряно-ароматичних рослин з перемінним ступенем осушення сушильного агента, при яких температура матеріалу не перевищує гранично допустиму для даного виду сировини, а втрати аромату не перевищують 20-25 % від вихідної сировини. Застосування теплового насоса дозволяє знизити питомі витрати енергії на сушіння в 1,5-2 рази.

#### **Перелік посилань:**

1. Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Малащук Н.С. Енергоресурсозберігаючі технології зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин. *Теплофізика та Теплоенергетика*, том 43 № 4 (2021), ст. 7-16.

## **TECNOLOGIES FOR DRYING SPICY-AROMATIC PLANTS**

Malashchuk N., Dr. Sc. Snezhkin Y., Ph. D. Dabizha N.

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

***ABSTRACT.** The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of peppermint has been studied. A significant dependence of the duration of the drying process on the heat and humidity parameters of atmospheric air was revealed. To create controlled heat and moisture drying conditions, it is proposed to dehydrate spicy-aromatic plants in dryers with a closed circulation circuit using a heat-generating dehumidifying heat pump unit.*

**KEYWORDS:** DRYING, SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS, MODES, HEAT PUMP, ENERGY EFFICIENCY.

## **ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН**

Малащук Н.С., д. т. н. Снежкін Ю.Ф., к. т. н. Дабіжа Н.О.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

***АНОТАЦІЯ.** Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення м'яти перцевої. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від тепловологісних параметрів атмосферного повітря. Для створення контрольованих тепловологісних умов сушіння запропоновано зневоднювати пряно-ароматичні рослини в сушарках з замкненим циркуляційним контуром з застосуванням теплогенеруючого осушуючого теплонасосного агрегату.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СУШІННЯ, ПРЯНО-АРОМАТИЧНА СИРОВИНА, РЕЖИМИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

**The purpose of the work.** Research of dehydration processes of spicy-aromatic



**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
plants in order to determine energy-efficient drying regimes that ensure maximum preservation of biologically active substances and essential oils.

**Results.** Spicy-aromatic plants are used for many purposes as medicines, spices, flavors, dyes and more.

An important step in the procurement of aromatic raw materials is drying. To determine the maximum allowable drying temperature of aromatic raw materials containing essential oils, experimental data on the effect of temperature on the content of aromatic substances were analyzed. Thus, with increasing drying temperature, the content of essential oil decreases sharply, and their composition also changes. At 60 ° C, there are irreversible changes in the components of essential oils of plants. Therefore, the drying temperature of spicy-aromatic raw materials should not exceed 30-45 ° C [1].

The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of mint grass has been studied [1]. A significant dependence of the duration of the drying process on the moisture content of atmospheric air was revealed. To create controlled conditions for drying mint and increase the energy efficiency of the dehydration process, it is proposed to use the condensing method of drying using a heat pump.

**Conclusions.** Energy-efficient drying regimes for spicy-aromatic plants with a variable degree of drying agent drying have been developed, in which the material temperature does not exceed the maximum allowable for this type of raw material, and aroma loss does not exceed 20-25% of raw material. The use of a heat pump can reduce the specific energy consumption for drying by 1,5-2 times.

#### **References:**

1. Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Малащук Н.С. Енергоресурсозберігаючі технології зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин. *Теплофізика та Теплоенергетика*, том 43 № 4 (2021), ст. 7-16.

**ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ БІОГРАНУЛ НА ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІЙ УСТАНОВЦІ**

аспірантка Новікова Ю.П., аспірант Петров А.І.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

*Анотація.* У роботі наведені кінетики сушіння композиційних біогранул на дослідно-промисловій сушильній установці після гранулювання на шнековому механічному пристрої.

*Ключові слова:* торф, мулові відкладення, тирса, лузга гречки, сушіння.

**RESEARCH OF KINETICS OF DRYING OF BIOGRANULES AT THE EXPERIMENTAL-INDUSTRIAL INSTALLATION**

graduate student Novikova Yu., graduate student Petrov A.

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

*Abstract.* The kinetics of drying of composite biogranules on an experimental-industrial drying installation after granulation on a screw mechanical device are presented.

*Key words:* sawdust, buckwheat husk, drying.

Preparation of raw materials, creation of compositions and granulation from obsolete sludge, peat and biomass have been covered in our previous publications [1].

The biogranules were subjected to drying in an experimental-industrial drying unit after granulation on a screw mechanical device at a coolant temperature of 80 °C.

In fig. 1 presents the results of drying on experimental-industrial drying installation. As can be seen from Fig. 1 the nature of drying of two-component biogranules based on obsolete sludge and peat and three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and sawdust at different initial humidity after 30 minutes is similar and the drying time is 150 minutes The duration of drying of three-

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
 component biogranules based on obsolete sludge, peat and buckwheat husks is less than the previous ones and is 120 minutes.

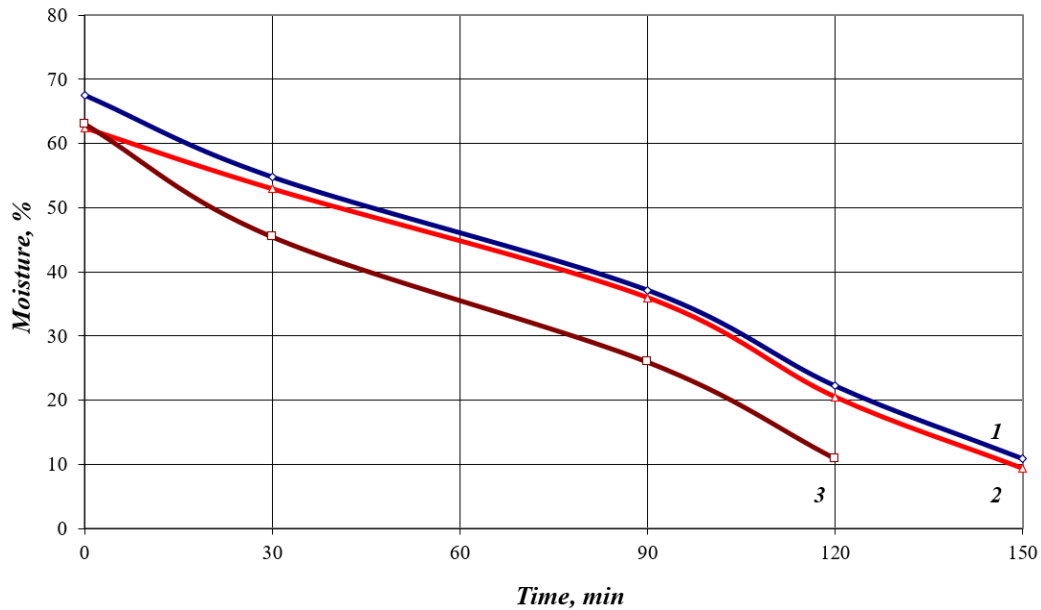


Fig. 1. Change of moisture (1,2,3) of two- and three-component granules from time to time during drying in an experimental-industrial installation.

Mode parameters  $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 2\text{ m / s}$ ,  $d = 6\text{ mm}$ :

- 1 - two-component biogranules based on obsolete sludge and peat; 2 - three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and sawdust; 3 - three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and buckwheat husks

Figure 2 shows the change in the drying rate of two- and three-component granules during in experimental-industrial drying installation. The nature of the drying speed curves is not uniform and there are jumps. In two-component biogranules based on obsolete sludge and peat, a decrease in the drying rate from 0.42%/min to 0.29%/min at a humidity of 55%, after which the rate increases to 0.5%/min at a humidity of 35%, and then the drying speed begins to slowly decline. In three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and sawdust, the first drop in drying rate is less than in two-component biogranules and is from 0.32%/min to 0.28%/min, then the rate increases to 0.37%/min, and then slowly declining. The drying rate of three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and

**Збірник тез доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
 buckwheat husks decreases from the beginning of the process from 0.58%/min to 0.32%/min, then rises to 0.5%/min and then decreases.

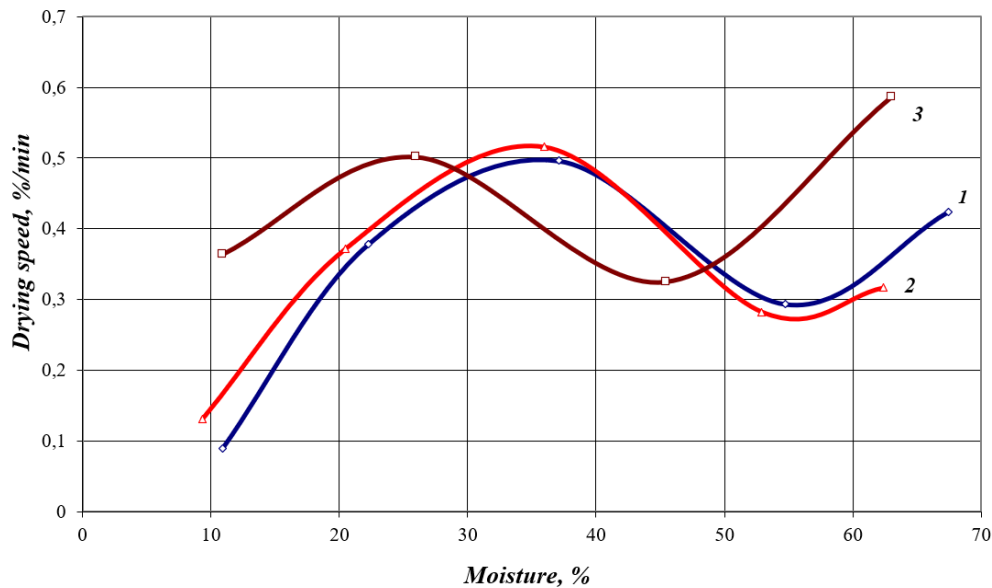


Fig. 2. Changing the drying rate of two- and three-component granules during drying in an experimental-industrial installation.

Mode parameters  $t = 80^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 2 \text{ m / s}$ ,  $d = 6 \text{ mm}$ :

- 1 - two-component biogranules based on obsolete sludge and peat; 2 - three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and sawdust; 3 - three-component biogranules based on obsolete sludge, peat and buckwheat husks

When drying in an experimental-industrial drying unit at a coolant temperature of  $80^{\circ}\text{C}$ , the duration increases by 4 - 5 times than when drying on a convective drying stand. This is due to the full load of the chamber and the thickness of the layer of formed composite granules on the pallets.

### 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.

### **Installation of a shoe press**

Assistant professor, Ph.D. Novokhat O. A.

**National Technical University of Ukraine**

**“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

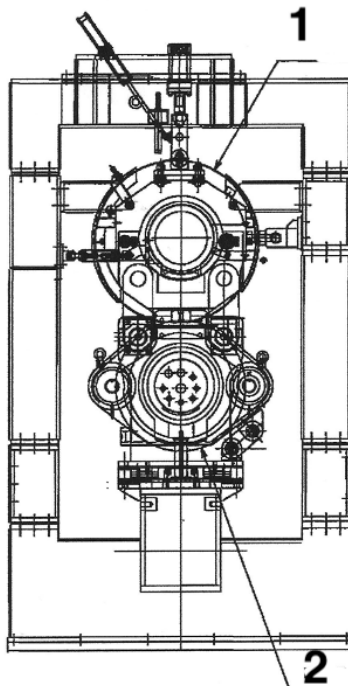
**Анотація:** Описано установку башмачного преса. Вказано особливості конструкції. Наведено переваги цієї конструкції.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПРЕС, ПРЕСУВАННЯ, СУКНО, ПАПІР, КАРТОН, ПАПЕРОРОБНА МАШИНА.

**Abstract:** The installation of a shoe press is described. Features of a design are specified. The advantages of this design are given..

**KEYWORDS:** PRESS, PRESSING, CLOTH, PAPER, CARDBOARD, PAPER MACHINE.

The shoe press is a modern press as part of a paper machine (fig. 1).



1 – shoe press module; 2 – shoe press shaft

Figure 1 - Shoe press

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

The shoe press consists of the lower shaft of the shoe press with a grooved rubber coating and module C of the shoe press. Operating maximum possible clamping pressure 1050 kN/m. The shoe press module C and the lower shoe press shaft are fixed by links (front and rear) and mounted on top of each other, and the "Clamp" or "Drain" is done by lowering the lifting inner shoe of the shoe press module.

The shoe press also has a suction shaft (pickup), with which the canvas after the transfer conveyor is picked up to the upper cloth and sent to capture the shoe press. The upper cloth and lower belt are mounted on the shoe press.

The press installation of the paper machine is shown in Figure 2.

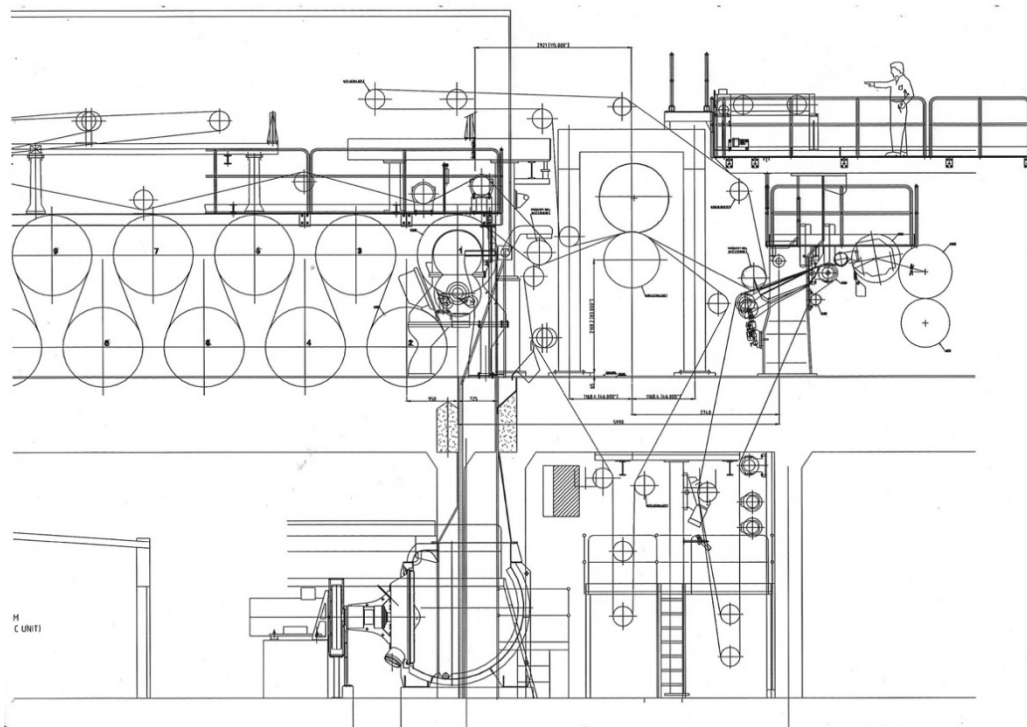


Figure 2 – Press installation of a paper machine

The scheme of cloth and belt includes current-carrying, tension and auto-correct shafts. Also on the top and bottom dress straightening rollers with adjustable deflection are established.

Stretchings of a cloth and a belt automatic spindle type. The cloth tension roller is installed in two tension carriages moving on running guides. The pulling force of the cloth acting on the tension roller is transmitted from the tension carriage

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
through the lead screw to the measuring device. Indications from the sensors of tension of a cloth (belt) are deduced on the control panel.

Pneumatic car wash. The contact plate of the pendulum probe, in contact with the edge of the cloth (belt), through the rocker arm controls the movement of the piston of the executive pneumatic cylinder. The actuating pneumatic cylinder drives the support lever of the cloth-correct shaft and rotates it in the direction opposite to the displacement of the cloth (belt).

The upper part, the shoe press module, is an integrally assembled assembly including a steel beam. This beam is equipped with a hydraulic shoe, a hydraulic shoe piston, includes a shirt tension assembly and an oil spray. The shoe press module is a pre-assembled shaft connected via pins to pipelines and electrically conductive communications.

The module of the shoe press is held by the bearing support of the lower shaft by means of two connecting links on the front and rear sides, thus, the pressure force in the contact zone of the two shafts, in the pressure zone, is converted into internal force. Opening and closing of all links is carried out by means of the oil-hydraulic rotary drive.

During the operation of the shoe press, the piston on the fixed beam of the module pushes the shoe, reaching the area of contact, clamping, between the jacket and the stationary lower shaft.

The shoe and shirt are lubricated with oil from the oil spray system. The oil that has passed between the shoe and the pressed shirt is removed with an oil scraper and collected in an oil trap to return to the lubrication unit through the pipeline together with other oil filled by internal injection.

The pressure difference between the shoe press module and the shoe press shaft should be between 0.3 - 0.5 MPa (43.5 - 72.5 PSI), which is the norm. The oil pressure in module C of the shoe press and the shoe press shaft is controlled by one hydraulic unit.

The shoe press is currently a modern design and provides high performanceю

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

**References:**

1. YANO, T. Total running cost reduction by installing a shoe press; Shoe press secchi ni yoru total running cost no sakugen. Kami Pa Gikyoshi (Journal of the Japanese Technical Association of Pulp and Paper Industry), 1997.
2. DIDIER, Bertrand. New development in shoe press technology. In: Proceedings of the Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry Conference. Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2004. p. 65-92.
3. HII, Collin, et al. PAPER PHYSICS. The web structure in relation to the furnish composition and shoe press pulse profiles during wet pressing. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2012, 27.4: 798-805.



**Ways to improve the cleaning of press felts**

Assistant professor, Ph.D. Novokhat O. A.

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**Анотація:** Запропоновано способи покращення очищення пресового сукна. Встановлено вплив на якість пресування.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КОНДИЦІОНУВАННЯ, СУКНО, ОЧИЩЕННЯ, ПРЕСУВАННЯ, ПАПІР, КАРТОН.

**Abstract:** Ways to improve the cleaning of the press cloth are proposed. The influence on the quality of pressing is established.

**KEYWORDS:** AIR CONDITIONING, CLOTHING, CLEANING, PRESSING, PAPER, CARDBOARD.

Small fibers, filler particles, sizing agents, etc. enter the paper cloth together with water. These particles can linger in the pores of the press cloth, reducing their volume. The decrease in pore volume also occurs as a result of repeated compression of the cloth in the pressing area. Therefore, over time, the permeability of the fabric decreases, it becomes more rigid, which leads to a decrease in the width of the pressing zone, increasing the maximum pressure in the zone and the hydraulic pressure in the paper web. All this negatively affects the efficiency of the press. Uneven clogging of the fabric across the width is especially dangerous, leading to the appearance of wet streaks on the paper canvas.

Such a system is proposed to improve the process of cleaning the cloth.

To maintain the properties of the cloth in working condition, the air conditioning system of press cloths is used. The air conditioning system consists of two suction slotted cloths, high and low pressure sprays.

The air conditioning process includes three main stages:

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

- processing of cloth for the purpose of separation of polluting particles from fibers;
- prevention of re-connection of the separated particles with the fibers of the cloth;
- removal of contaminants and ensuring the required moisture of the cloth before entering the pressing area.

In the first stage, high-pressure spray is used to separate the pollutants. In the second stage, a large amount of water is supplied by low pressure spraying. In the third stage, the excess water together with the polluting particles is removed with the help of suction slotted cloths.

It is impossible to allow marriage lumps to get into the grip of the press, because this causes the appearance of melted streaks on the fabrics and leads to their complete inoperability.

The combination of low and high pressure spraying and slotted cloth washer will allow you to clean the press cloth. This will improve the quality of pressing paper or cardboard in general.

**References:**

4. Chandoull I. Theoretical and Experimental Study of Pressing Paper. Chandoull, I. Zouari and A. Bellagi // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 7, Number 4 (2012) pp. 365-382.
5. Wood J. The effect of paper machine forming and pressing on offset linting: Forming and consolidation in the presses strongly influence sheet linting/ Wood J., J. McDonald, P. Ferry. // Pulp and Paper Canada-Ontario (1998) pp. 53-59.

**STUDY OF KINETICS OF DRYING OF DOGWOOD (*Cornus mas L.*)  
ON A CONVECTIVE DRYING STAND**

Petrova Zh., Dr. Sci., Chief Researcher,

Slobodianiuk K., PhD, Senior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Abstract.** It is devoted to research and analysis of kinetics of drying dogwood fruits on a convective drying stand. Determined the duration of the dehydration process before reaching the residual moisture value 19,5 % at the mode parameter of the heat carrier  $t = 80/60$  °C,  $v = 3,5$  m/sec,  $d = 10$  g/kg dry air.

**Keywords:** KINETICS, CONVECTIVE DRYING, DOGWOOD FRUITS, HUMIDITY, HEAT-TECHNOLOGY.

**ДОСЛІЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ПЛОДІВ КИЗИЛУ  
(*Cornus mas L.*) НА КОНВЕКТИВНОМУ СУШИЛЬНОМУ СТЕНДІ**

Петрова Ж.О., д.т.н., гол.наук.співр., Слободянюк К.С., к.т.н., с.н.с.

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Анотація.** Робота присвячена дослідженням та аналізу кінетики сушіння плодів кизилу на конвективному сушильному стенді. Визначено тривалість процесу зневоднення до досягнення значення залишкової вологості 19,5 % при режимному параметрі теплоносія  $t = 80/60$  °C,  $v = 3,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.

**Ключові слова:** КІНЕТИКА, КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ, ПЛОДИ КИЗИЛУ, ВОЛОГІСТЬ, ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ.

For several years in a row, Ukraine has maintained a high level of interest in the production of dried fruit and dried berry products. [1]. Dogwood fruits (*Cornus mas L.*) – bony, instead of seed chambers have a bone surrounded by flesh. The stone fruits include cherries, sour cherries, plums, apricots, peaches, dogwoods, thorns,

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
plums, prunes, and others. Stored poorly because they have a tender, juicy flesh, do not tolerate prolonged transportation. The fruit is a fleshy stone 1.5 cm long, with a color range from red to almost black.

According to a study by scientists Klimenko S.V. and Sklyarevsky M.P.: dogwood fruit is characterized by increased biological value, but limited shelf life [2]. Thus, according to the technical requirements - the shelf life of fresh dogwood is 7 days at room temperature 0–1°C [2].

Authors in the work [3] is noted that the most rational way of preserving fruit and berry raw materials is drying, because the dried products slow down microbiological processes, and the composition of nutrients and biologically valuable substances remains close to natural [3].

For further technological use for food purposes, dogwood fruits need preliminary preparation, they are inspected and washed. From the selected bulk sample of fruit (10 g) determine the initial humidity according to the known standard method "Method of drying to constant weight according to GOST 28561-90" [3]. The test sample, after preliminary preparation,  $m_{in} = 76,379$  g 1 layer was laid out on a special calico tray for drying on an experimental convective stand developed at the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. After loading the sample, convective drying was carried out at the mode parameter of the coolant  $t = 80/60$  °C,  $v = 3,5$  m/sec,  $d = 10$  g/kg dry air. The system of automatic collection and processing of information, which is provided by the stand, registered the change in the mass of the sample, the temperature of the heat carrier and dogwood fruit in real time.

As can be seen from Figure 1, the nature of the curve of the kinetics of drying dogwood fruits is due to the structural and biochemical properties of the material. The total duration of the dehydration process was 977,25 min (16 hour 29 min). Residual moisture of the material was fixed at the level  $W_{res} = 19,5$  %, that allows to use the received product in the further technological use.

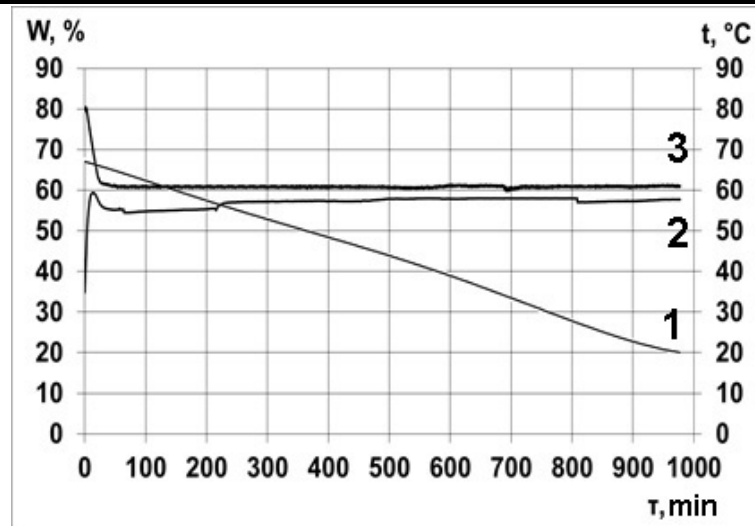


Figure 1 – Drying kinetics and temperature curves of dogwood fruit heating. Mode parameters of the heat carrier:  $t = 80/60$  °C,  $v = 3,5$  m/sec,  $d = 10$  g/kg dry air,  $h_l = 10$  mm.  $W_{in} = 67,7$  %,  $W_{res} = 19,5$  %.

- 1 – kinetics of dogwood drying; 2 – temperature inside the dogwood fruit;  
3 – heat carrier temperature.

#### References:

1. Source of information – <https://tolsma.com.ua>
2. Postolenko E.P. Formuvannya yakosti plodiv kyzylu ta yiyi zberezhennia zamorozhuvanniam // dys.kand.tekhn.nauk, 06.01.15. Mliiv – 2015.
3. Pogozykh M.I., Pak A.O. Energoefektyvni sposoby pererobky kharchovoi syrovyny: syshinnia plodovo-yagidnoi syrovyny. Kharkiv: KhDUKht, 2015. – 159 s.
4. Slobodianiuk K.S., Grakov O.P. Vyznachennia masovoi chasrky vology plodiv lokhyny metodom vysushuvannia do postiinoi masy. Zbirnyk tez dopovidei XXIX vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferencii studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh "Obkladnannia khimichnykh vyrobnyctv i pidpriemstv budivelnykh materialiv" 06 - 08 grudnia 2021 r. m. Kyiv) / Ukladach Ya.M. Kornienko. – K.: «KPI im. Igoria Sikorskogo», 2021. S. 8 -10.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ НАСІННЕВОЇ КУКУРУДЗИ**

м.н.с. Вишнеvsька Т.А., аспірант Вишнеvsький В.М.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

*Анотація.* У роботі наведена кінетика сушіння насіння кукурудзи конвективним методом.

*Ключові слова:* насіння, кукурудза, теплоносій, сушіння.

## **RESEARCH OF KINETICS OF DRYING OF SEED CORN**

Junior scientific research Vyshnevskaya T., graduate student Vyshnevskiy V.

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

*Abstract.* The kinetics of drying of corn seeds by convective method is given in the work.

*Key words:* seeds, corn, coolant, drying.

Кукурудза як зернова культура має харчову та кормову цінність. В зерні кукурудзи міститься крохмаль ( 60,9 – 75,6%), білка (6,3 – 19,7%), олії (3,2 – 6,4), цукру (1,5 – 5%) та мінеральних солей [1].

Із зерна кукурудзи виробляють попкорн, пластівці, борошно, крупу, рослинну олію, крохмаль, глюкозу та інші продукти.

Великий вплив на визначення режимів сушіння кукурудзи насінневого призначення становить невелика термостійкість білків зародка.

Основними недоліками сушарок при сушінні кукурудзи є:

- низька середня швидкість сушіння, що не перевищує 0,25...0,35% за год (тривалість сушіння партії кукурудзи складає від 40 до 100 год);
- підвищені теплові втрати (тепловий ккд не перевищує 20...25%) і втрати сушильного агента в навколишнє середовище, що складають 25...30%;
- нерівномірність сушіння і нагріву качанів за шарами насипу;

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

- труднощі впровадження повної механізації і автоматизації по розвантаженню камер і керуванню технологічним процесом сушіння;

- значний об'єм ручних операцій;

- тривалий час впливу теплоносія на насіння кукурудзи при односторонньому продуванні, що не дозволяє приймати теплоносії з підвищеною температурою.

Тому потрібно визначити режими сушіння насіння кукурудзи в елементарному шарі в конвективній сушильній установці.

В даній роботі досліджується крохмаловмісна кукурудза. Зерно має тонкий шар рогоподібного ендосперму що розташований по периметру зернівки. Основна частина зерна заповнена борошністим ендоспермом, що надає зерну матовий відтінок. Зерно сильно вбирає вологу і в порівнянні з іншими підвидами швидко вражається хворобами і шкідниками, слабо стійке при зберіганні. За технологічними властивостями зерно цього підвиду є гарною сировиною для крохмало-патокової та спирто-горілкової промисловості, а це передбачає низькі температури сушіння.

Дослідження кінетики процесу сушіння крохмаловмісної кукурудзи проводились на експериментальному конвективному стенді [2]. Для дослідження був використаний сорт кукурудзи Р 9074 із початковою вологістю  $W_{п} = 16,3\%$ .

Вивчення кінетики процесу сушіння кукурудзи, не зважаючи на різні режими 50, 60, 70, 80°C, температурні криві та криві тривалості сушіння мають подібний характер. Це означає, що відбувається рівномірний прогрів матеріалу і процес випаровування вологи відбувається з постійною швидкістю, що показано на рис.1.

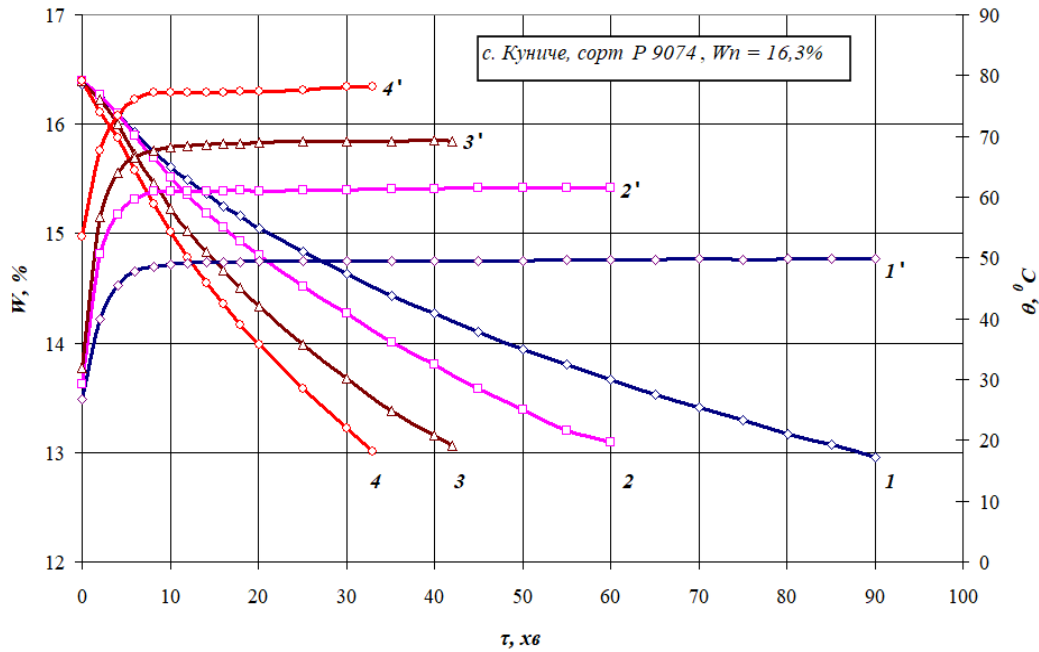


Рис. 1. Вплив температури теплоносія на тривалість та швидкість сушіння насіння кукурудзи (сорт Р 9074) ( $\delta = 4$  мм,  $V = 3$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.)

- де: 1-крива тривалості сушіння при температурі теплоносія  $50^\circ\text{C}$ ;  
1'-крива температури нагрівання матеріалу при температурі теплоносія  $50^\circ\text{C}$ ;  
2- крива тривалості сушіння при температурі теплоносія  $60^\circ\text{C}$ ;  
2'-крива температури нагрівання матеріалу при температурі теплоносія  $60^\circ\text{C}$ ;  
3- крива тривалості сушіння при температурі теплоносія  $70^\circ\text{C}$ ;  
3'-крива температури нагрівання матеріалу при температурі теплоносія  $70^\circ\text{C}$ ;  
4- крива тривалості сушіння при температурі теплоносія  $80^\circ\text{C}$ ;  
4'-крива температури нагрівання матеріалу при температурі теплоносія  $80^\circ\text{C}$ .

Характер кривих швидкості сушіння від впливу температури теплоносія подібний до сушіння капілярно-пористих матеріалів. Період постійної швидкості сушіння на кривих сушіння не спостерігається. Процес випаровування вологи з поверхні зерна кукурудзи відрізняється від процесу випаровування з вільної поверхні (рис. 2).



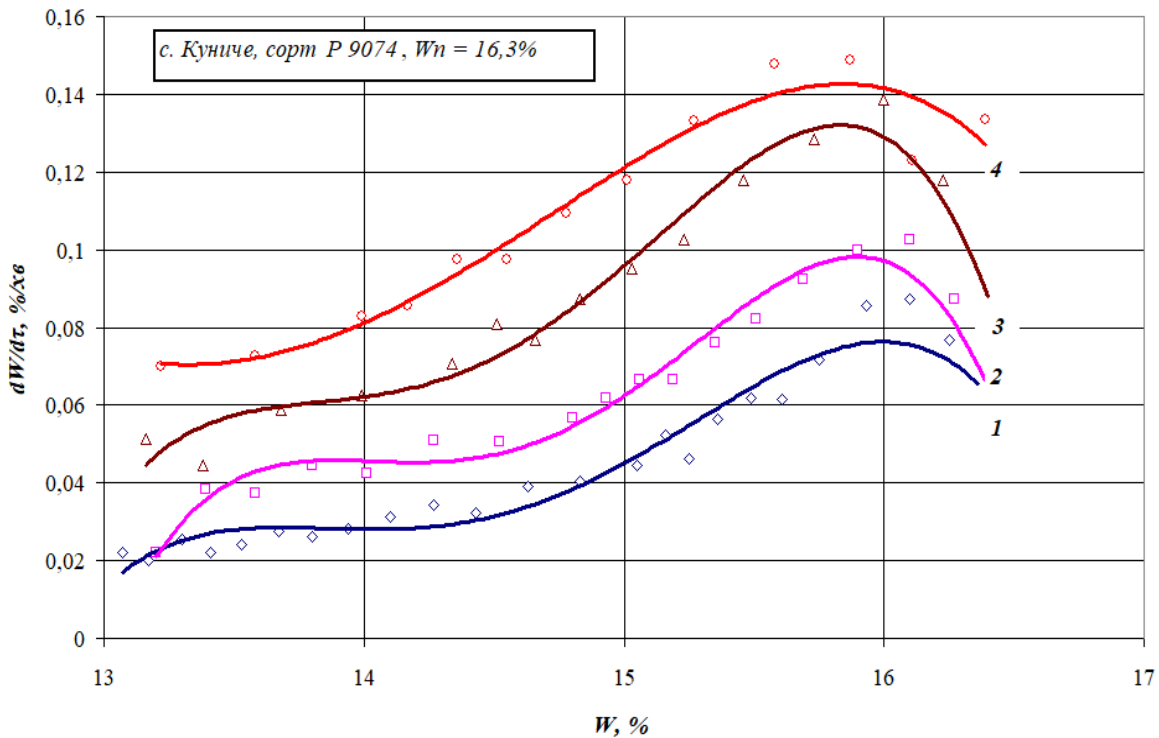


Рис. 2. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння кукурудзи (сорт Р 9074) ( $\delta = 4$  мм,  $V = 3$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.)

- де: 1-крива швидкості сушіння при температурі теплоносія  $50^{\circ}\text{C}$ ;  
 2- крива швидкості сушіння при температурі теплоносія  $60^{\circ}\text{C}$ ;  
 3- крива швидкості сушіння при температурі теплоносія  $70^{\circ}\text{C}$ ;  
 4- крива швидкості сушіння при температурі теплоносія  $80^{\circ}\text{C}$ .

В. А. Данилов [3] розробив метод узагальнення кривих сушіння. Він показує, що існує пропорційність між швидкістю сушіння в перший період  $N$  при будь-якому режимі і оберненою величиною тривалості процесу  $\tau_T$  від початкового вологовмісту  $W_n$  до кінцевого  $W_k$ , причому ця пропорційність зберігається при всіх режимах

$$N \approx \frac{1}{\tau_T} \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{T1}} = \frac{\tau}{\tau_{T2}} = \dots = \left( \frac{\tau}{\tau_T} \right) = const \quad (2)$$

Це означає, що для даного проміжного вологовмісту  $W$  при незмінних  $W_n$  та  $W_k$  величина  $\frac{\tau}{\tau_T}$  зберігається постійною незалежно від режиму сушіння.

Оцінюючи результати досліджень узагальнених кривих сушіння насіння кукурудзи метод Данилова В.А. більш точно описує процес (рис. 3).

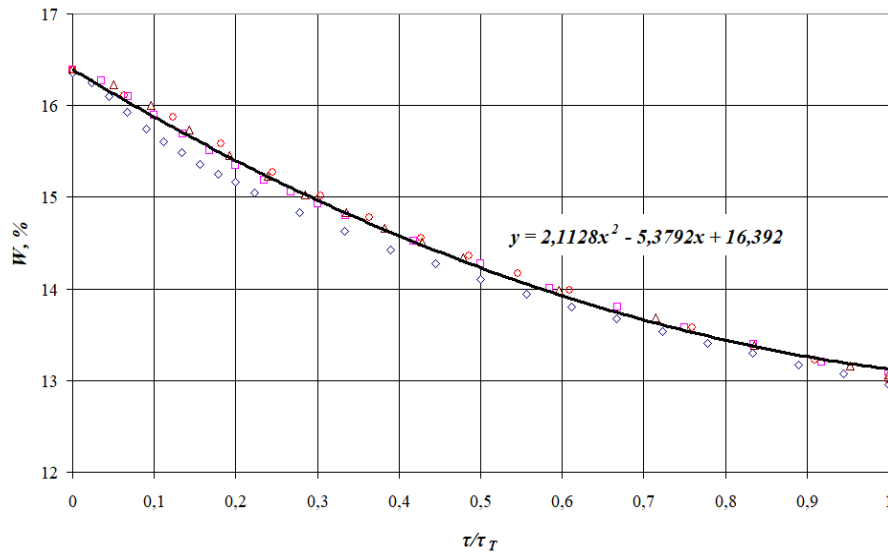


Рис. 3. Узагальнена крива кінетики сушіння насіння кукурудзи (сорт Р 9074):  $\diamond$  –  $t = 50^\circ\text{C}$ ;  $\square$  –  $t = 60^\circ\text{C}$ ;  $\blacktriangle$  –  $t = 70^\circ\text{C}$ ;  $\circ$  –  $t = 80^\circ\text{C}$ .

На рис. 3 зображена крива сушіння насіння кукурудзи яка перенесена в систему координат  $W - (\tau/\tau_T)$  та трансформувалась в єдину узагальнену криву сушіння.

Узагальнені криві кінетики сушіння насіння кукурудзи за методом Данилова В.А. гарно співпадають з різними режимами сушіння (рис. 3). Узагальнена крива сушіння може бути побудована по одній дослідній кривій сушіння насіння кукурудзи, отриманій при будь-якому режимі сушіння, що значно спрощує проведення дослідження кінетики сушіння.

### Висновки

1. Проведені дослідження по кінетиці сушіння кукурудзи на конвективному стенді встановили залежність впливу температури теплоносія на тривалість та швидкість сушіння. Збільшення температури теплоносія від  $50$  до  $80^\circ\text{C}$  прискорює процес в 2,8 разів, але для кращої схожості матеріалу найкраще сушити при температурі  $50^\circ\text{C}$ .

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

2. Побудова узагальненої кривої сушіння насіння кукурудзи за методом Данилова В.А. показує, що для любого режиму сушіння відповідає одна крива сушіння в системі координат  $W - (\tau/\tau_T)$ .

### **Література**

1. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы. Голик М.Г., М. «Колос», 1968. 335 с.
2. Paziuk V., Vyshnevskiy V., Tokarchuk O., Kupchuk I. Substation of the energy efficient schedules of drying grain seeds. Bulleting of the Transilvania University of Brasov. Series 2: Forestry. Wood industry. Agricultural food. Engineering. Vol. 14(63) №2 – 2021, P. 137 - 146
3. Данилов В.А., Красников В.В. Высокоинтенсивная конвекционная сушка бумаги и картона / В.А. Данилов, В. В. Красников – М.: Колос, 1970. – 432с.

**Актуальні напрямки дослідження явищ концентраційної поляризації**

студент Вірич С.В., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

**Національний технічний університет України**

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

Явища концентраційної поляризації (КП) та утворення осадів на поверхні мембран є однією з найбільших проблем при експлуатації мембранного обладнання. Вони полягають збільшення концентрації розчинених речовин біля поверхні мембрани, які створюють додатковий опір розділенню. Вони виникають в наслідок фундаментальної природи мембранного розділення. Розчинена речовина переноситься до поверхні мембрани і, внаслідок селективних властивостей мембрани, накопичуватися біля поверхні [1-5].

До основних напрямків досліджень є визначення впливу робочих параметрів на процес, зокрема температури [1]. Результати показули, що для всіх типів досліджених мембран, потік пермеату істотно не змінювався в залежності від температури. Також було помічено, що товщина шару КП зменшується з температурою.

Активно досліджується розвиток забруднень, зокрема з використанням індикатора хлориду натрію, щоб визначити вплив забруднення на рівень КП в системі зворотного осмосу [2], а також досліджується модель опору для прогнозування динамічних характеристик зворотного осмосу, призначеного для очищення стічних вод виробництва оливкової олії [3].

Крім того, важливим для розуміння є розвиток теоретичних уявлень про розглядувані явища та розвиток розрахункових залежностей. Була розроблена модель вдосконалена модель концентраційної поляризації на основі диференційного матеріального балансу в нестационарному режимі [4]. Крім того, в роботі [5], були встановлена емпіричні (критеріальні) залежності для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі та коефіцієнтів тертя при руху в мембранному каналі зі спейсерами в умовах інтенсивного розвитку КП.

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

Отже, велика кількість досліджень, пов'язаних з явищем КП свідчить про важливість цього напрямку. Крім того, залишається достатньо велика кількість не вирішених проблем, пов'язаних з цим явищем, тому подальші дослідження в цій галузі залишаються перспективними.

**Перелік посилань:**

1. Baghdadi Y. N., Alnouri S. Y., Matsuura T., Tarboush B. J. A. (2018). Temperature Effects on Concentration Polarization Thickness in Thin-Film Composite Reverse Osmosis Membranes. *Chemical Engineering & Technology* 41(10). Pages 1905-1912. <https://doi.org/10.1002/ceat.201800184>
2. Ochando-Pulido J.M., Verardo V., Segura-Carretero A., Martinez-Ferez A. (2015). Analysis of the concentration polarization and fouling dynamic resistances under reverse osmosis membrane treatment of olive mill wastewater, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 31, Pages 132-141, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.06.017>.
3. Chong T.H., Wong F.S., Fane A.G. (2007). Enhanced concentration polarization by unstirred fouling layers in reverse osmosis: Detection by sodium chloride tracer response technique, *Journal of Membrane Science*, Volume 287, Issue 2, 2007, Pages 198-210, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.10.035>.
4. Rathore N. S., Kundariya N., Sadistap S., Narain A. (2013). Mathematical modeling and simulation of concentration polarization layer in reverse osmosis process, 2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES), pp. 1-4, doi: 10.1109/SCES.2013.6547547.
5. Gu B, Adjiman CS, Xu XY. Correlations for Concentration Polarization and Pressure Drop in Spacer-Filled RO Membrane Modules Based on CFD Simulations. *Membranes*. 2021; 11(5):338. <https://doi.org/10.3390/membranes11050338>

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CAVITATION  
MECHANISMS ON HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES  
IN A PULSATING APPARATUS**

Ph.D. Hozhenko L. P.

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

***Abstract.** The substantiation of effective extraction of target biologically active substances at application of method of discrete-impulse input of energy (DIIE method) on the processed environment is resulted. The pulsation type cavitation reactor is presented, in which the controlled influence of cavitation mechanisms on the processes of mixing, dispersion, extraction is applied.*

***Key words:** extraction, cavitation, pulsation, reactor, efficiency.*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАВІТАЦІЙНИХ МЕХАНІЗМІВ НА  
ПРОЦЕСИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ**

с.н.с., к.т.н. Гоженко Л. П.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

***Анотація.** Наведено обґрунтування ефективного вилучення цільових біологічно-активних речовин при застосуванні методу ДІВЕ на оброблюване середовище. Представлено кавітаційний реактор пульсаційного типу, в якому застосовується керований вплив кавітаційних механізмів на процеси перемішування, диспергування, екстракції.*

***Ключові слова:** екстракція, кавітація, пульсація, реактор, ефективність.*

Today the phenomenon of cavitation is studied in the scientific directions of positive energy efficiency impact on the treated environment. On the basis of the ideology of DIIE method Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine developed and implemented mass exchangers, which in particular are the processes of mixing, dispersing, homogenization and extraction. However, depending on the

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

type, structure and other properties of raw materials, product quality indicators, theoretical and experimental studies of heat and mass transfer processes, scientific substantiation of results, development and implementation of efficient devices, environmentally friendly production lines for quality products for pharmaceutical, food and chemical industries.

To solve the problems of research of heat and mass transfer processes in the pulsation apparatus with the initiation of cavitation mechanisms, a pulsation-type cavitation reactor was made. Fundamentally new design of the device provides intensification of mass transfer processes with enhanced cavitation effects at predetermined technological parameters and modes for the pulsation device. The dynamic effects created in the Venturi nozzle and the working chamber, the combined effect on the treated medium allows you to remove the target biologically active substances from raw materials without prior grinding. At the same time, in the course of experimental research, technological regimes were recorded in which plant raw materials can be ground in a cavitation reactor or its structure can be left as intact as possible for a more efficient further filtration process. The achieved degree of extraction of thermolabile biologically active substances from plant raw materials at temperatures below 40 °C in a cavitation reactor is on average 1,5 times higher than in the pulsation apparatus.

Due to periodic changes in the intensity of fluid flow there is a periodic change in pressure in the treated medium, which encourages stronger cavitation effects and, accordingly, intensifies the convective transfer of target substances at the micro and nanoscale. Optimization of mass transfer processes in a cavitation reactor is based on technological parameters and modes of initiation of a cavitation cluster. Therefore, an important stage of research is the preliminary determination of the properties of raw materials, preparation of liquid systems for adjusting the initial data on the initiation of DIIE mechanisms with enhanced cavitation effects.

Modeling of hydrodynamic processes in a cavitation reactor allows you to control the processes of heat and mass transfer during the processing of certain raw materials. Technological parameters of cavitation cluster initiation in node of

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

hydrodynamic processes amplification are calculated. Fixation of the visual vision of the influence of pressure pulses during the processing of raw materials is carried out through a transparent pipe equipped with precision barometers.

It is established that the intensification of heat and mass transfer processes in the developed cavitation pulsation type reactor is achieved under the condition of non-stationary hydrodynamic state with sharp changes in volume. In this case, high-frequency oscillations occur in the treated system, which differ from the oscillations caused by changes in fluid volume. However, these oscillations are not absorbed by the continuous medium, but scatter on the interfacial surface, causing a long-term increase in heat and mass transfer.



**Mathematical model of thermoplastic melting in disk extruder**

graduate student Kovba A, Ph.D., associate professor Shved M

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

**ABSTRACT:** The most common cause of poor-quality product is insufficient handling and investigation of the melting stage of the thermoplastic in the process of extrusion, which can be caused by external factors and not taking into account the properties of raw materials. Therefore, an in-depth study of this process, the creation of a mathematical model in order to ensure minimal resource and energy consumption at this stage with a minimum length of the melting zone and ensuring consistently high productivity is important.

**KEYWORDS:** extruder, melting, melting zone, mathematical model, dispersion model.

Due to the shearing in the loading and plasticizing zone, melting and melting movement occurs. In the mathematical model, it will be necessary to determine these speeds. To determine, we will use a classical model: the equation of fluid motion, the equation of indissolubility of the flow and for thermodynamic processes we use energy equations with the corresponding conditions of unambiguity.

It is accepted that the width of the cutting channel is much greater than its height ( $b \gg H$ ). The  $j$ -axis is directed in the direction of the speed of the  $V_j$ , which is determined by dependence near the surface of the wall [1]:

$$V_j = \sqrt{(V_z - V_T)^2 + V_x^2}, \quad (1)$$

where the speed components are equal to:

$$V_z = \pi D n \cos \varphi, \quad (2)$$

$$V_x = \pi D n \sin \varphi, \quad (3)$$

$$V_T = \frac{G}{l \rho_n b H}, \quad (4)$$

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

where  $I$  is the number of screw cutting measures,  $G$  is the performance,  $b$  and  $H$  are the width and height of the screw slicing channel, respectively.

If we consider the movement of the melt membrane as a stream between two plates, one of which is stationary, and the other moves at a speed of  $V_j$ , then the equation of motion takes the form:

$$\mu \frac{d^2 V_j}{dy^2} = 0, \quad (5)$$

where  $\mu$  - effective viscosity of polymer melt.

Solving this equation under the boundary conditions  $V_j = 0$  at  $y = 0$  and  $V_j = V_j$  at  $y = \delta$ , we get the following velocity profile:

$$V = V_j \frac{y}{\delta} \quad (6)$$

where  $\delta$  - the thickness of the melt membrane.

Further, if we assume that heat is transmitted only by thermal conductivity in the direction of the axis  $y$ , then the energy equation, taking into account dissipation, takes the form of:

$$\lambda_p \frac{d^2 t}{dy^2} + \mu \left( \frac{dV_j}{dy} \right)^2 = 0, \quad (7)$$

where  $\lambda_p$  - thermal conductivity of the polymer melt.

Unlike the Tadmore model, equation (7) will be solved under the boundary conditions of the second kind near the cylinder wall, that is:

$$\text{if } y = 0 \quad t = t_{\text{mр}} \quad (8)$$

$$\text{if } y = \delta \quad \frac{dt}{dy} = 0, \quad (9)$$

where  $t_{\text{mр}}$  - polymer melting point.

Integrating equation (7) under boundary conditions (8) and (9) gives the following temperature profile in the melt membrane:

$$t = t_{\text{mр}} + \frac{\mu}{\lambda_p} \left( \frac{V_j}{\delta} \right)^2 \left[ y\delta - \frac{y^2}{2} \right]. \quad (10)$$

The average temperature of the melt membrane will be determined as follows:

$$t_{\text{cp}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} t dl = t_{\text{mр}} + \mu \frac{V_j^2}{3\lambda_p}. \quad (11)$$

Accordingly, the polymer temperature near the cylinder wall ( $y = \delta$ ) is:

$$t_{\text{CT}} = t_{\text{III}} + \mu \frac{V_j^2}{2\lambda_p} \quad (12)$$

As can be seen from the equations (11), (12) the temperature of the  $t_{\text{CT}}$  and  $t_{\text{III}}$  clearly do not depend on the thickness of the melt membrane. This dependence reflects that the viscosity of the melt depends on the shear rate, which, in turn, is a function of the thickness of the membrane  $\delta$ .

Determine the absolute value of the specific heat flow on the melting surface ( $y = 0$ ):

$$q_{\frac{y}{y=0}} = \lambda_p \left( \frac{dt}{dy} \right)_{y=0} = \mu \frac{V_j^2}{\delta} \quad (13)$$

This heat flow is used to heat and melt a solid polymer that enters at a speed of  $V_y$  to the melting surface. Taking that a solid polymer has a temperature of  $t_{\text{BX}}$  granules falling into the loading funnel, we write the following equality, taking into account the above:

$$\mu \frac{V_j^2}{\delta} = V_y \rho_T (i_{\text{III}} - i_{\text{BX}}), \quad (14)$$

where  $i_{\text{III}}$  and  $i_{\text{BX}}$  - enthalpy of melt of polymer at  $t_{\text{III}}$  and solid polymer at  $t_{\text{BX}}$ ,  $\rho_T$  - density of solid polymer. On the other hand, the amount of polymer that has melted at the length of  $dz$  is equal to the amount of melt removed by the turn from the surface of the cylinder [2]:

$$V_y \rho_T x dz = \frac{V_x}{2} \rho_p \delta dz, \quad (15)$$

where  $x$  - is the width of a polymer that has not melted. From (15) we find:

$$V_y = \frac{V_x \rho_p \delta}{2 \rho_T x}, \quad (16)$$

Substituting (16) in (14) and solving the resulting equation with respect to the  $\delta$ , we find:

$$\delta = \left[ \frac{2\mu V_j^2 x}{V_x \rho_p (i_{\text{III}} - i_{\text{BX}})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

The melting speed of the polymer  $W$  to one length in the direction of the channel axis is equal to:

$$W = \frac{V_x}{2} \rho_p \delta = \left[ \frac{V_x \rho_p \mu V_j^2 x}{2(i_{\text{пл}} - i_{\text{вх}})} \right]^{\frac{1}{2}} = \Phi x^{\frac{1}{2}}, \quad (18)$$

where

$$\Phi = \left[ \frac{V_x \rho_p \mu V_j^2 x}{2(i_{\text{пл}} - i_{\text{вх}})} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Using the expression obtained by Tadmor to determine the width of the solid traffic jam  $x$  for the case of  $H = \text{const}$ , it takes the form:

$$x = x_1 \left[ 1 - \frac{(z_2 - z_1)^{\frac{1}{2}}}{2 \rho_p V_T H x_1^2} \right]^2, \quad (20)$$

where  $x_1$  - hard stopper width when  $z = z_1$ .

The power spent on the melting of the polymer on the site  $(z_2 - z_1)$  we find from the following equation:

$$\Delta Q_{\text{II}} = \frac{\delta V_x}{2} \rho_p [(i_{\text{пл}} - i_{\text{вх}}) + C_p (t_{\text{ср}} - t_{\text{пл}})] (z_2 - z_1), \quad (21)$$

where  $C_p$  - heat capacity of the polymer melt at a temperature  $t_{\text{ср}}$ .

The pressure in the melting area will be found from the equation for mass productivity, deciding which relative to pressure, you can get:

$$p_2 = p_1 + \frac{12\mu'(z_2 - z_1)}{(b-x)H^3 F_p} \left[ \frac{\rho_{\text{H}} \chi H V_T}{\rho_p} - \frac{V_z (b-x) H F_d}{2} - \frac{G}{\rho_p} \right], \quad (22)$$

where  $F_d$  and  $F_p$  - are coefficients that take into account the stopping effect of the side walls of the channel, which we will find according to the proposed approximate dependencies:

$$F_p = 0,13 \left( \frac{H}{b-x} \right)^2 - 0,71 \frac{H}{b-x} + 1, \quad (23)$$

$$F_d = 0,125 \left( \frac{H}{b-x} \right)^2 - 0,625 \frac{H}{b-x} + 1, \quad (24)$$

where  $\mu'$  - is the viscosity of the melt, determined by the average temperature, which is removed by the twist of the membrane  $t_{\text{ср}}$  and the average displacement rate  $\dot{\gamma}$  in the melt area, which is based on the following expression:

$$\dot{\gamma}_p = \frac{\pi^2 (D-H)(D-2H)n}{H \sqrt{\pi^2 (D-2H)^2 - D^2}} \quad (25)$$

The power consumed in the melt zone is equal to:

$$\Delta Q_p = \frac{\mu'(b-x)(z_2-z_1)}{H} [4V_x^2 + V_z^2(1 + 3a^2)], \quad (26)$$

where  $a$  - is the throttle ratio, which is the ratio of the performance of the countertherapy to the performance of the direct life according to the formula:

$$a = \frac{(p_2-p_1)H^2}{6\mu'V_z(z_2-z_1)}. \quad (27)$$

Accordingly, the power used to overcome the friction forces of a solid polymer at the base of the worm, we find the following dependence:

$$\Delta Q_{\text{ч}} = Pf_{\text{ч}}V_{\text{T}}x(z_2 - z_1), \quad (28)$$

where  $P$  - is the average pressure on the site. Then the total power consumed on the site length  $(z_2 - z_1)$ , is equal to:

$$\Delta Q = I(\Delta Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{ч}}) = \left. \begin{aligned} & \left( \frac{\delta V_x}{2} \rho_p [(i_{\text{пш}} - i_{\text{вх}}) + C_p(t_{\text{сп}} - t_{\text{пш}})] + \right. \\ & \left. + \frac{\mu'(b-x)}{H} [4V_x^2 + V_z^2(1 + 3a^2)] + Pf_{\text{ч}}V_{\text{T}}x \right) (z_2 - z_1)I \end{aligned} \right) \quad (29)$$

Thus, equation (29) can be used to determine the power spent on the process of melting the polymer in the loading and plasticizing zone of the disk extruder.

## References:

1. Reznik R.Y. Determination of power in the loading and plasticizing zone of the disk extruder / R.Y. Reznik, M.P. Shved, D.M. Shved / East European Journal of Advanced Technologies. – Kharkiv. – 2013.
2. Resnik R.Y. Determination of power in the loading and plasticizing zone of the disk extruder / M.P. Shved, D.M. Shved / Resource-saving technologies and equipment: Zb. theses dop. IV International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. – Kyiv. – 2013. - Art. 23.

**СХОЖІСТЬ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЯК ОДИН ІЗ  
ВАЖЛИВИХ ПОКАЗНИКІВ**

д.т.н. Петрова Ж.О., к.т.н. Самойленко К.М., аспірант Вишневський В.М.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

*Анотація.* У роботі наведено експериментальні дослідження з визначення схожості насіннєвого зерна гібриду кукурудзи P9718. Основною метою досліджень було виявити найбільш оптимальний температурний режим при сушінні кукурудзи.

*Ключові слова:* сушіння, пророщування, насіннєве зерно, кукурудза.

**GERMINATION OF SEED GRAIN OF CORN AS ONE OF THE  
IMPORTANT INDICATORS**

Doctor of Engineering Petrova Zh., Ph.D. Samoilenko K.,  
graduate student Vyshnievskiy V.

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

*Abstract.* The paper presents experimental studies to determine the germination of seed grain of the hybrid corn P9718. The main purpose of the research was to identify the most optimal temperature regime for drying corn.

*Key words:* drying, germination, seed grain, corn.

На тривалість та якість при зборі та зберіганні насіннєвого зерна кукурудзи впливає цілий ряд чинників. Неналежні умови та стан матеріалу (наприклад, підвищена вологість зерна) можуть спричинити розвиток шкідливих мікроорганізмів і шкідників і як наслідок - псування зерна. Вологість кукурудзи під час збору урожаю в залежності від погодних умов

до 20-35 %. Тому, після обмолоту відразу проводять первинну очистку зерна, а за потреби — досушування до вологості 14–15 %. Згідно літературних джерел, температура сушильного агенту може досягати навіть 90-110 °С, а температура самого зерна не повинна перевищувати 60 °С [1]. Оскільки процеси сушіння є енергозатратними, важливо підбирати такий режим, який би був енергоефективним та не впливав на пророщування насінневого матеріалу.

Для підбору оптимального режиму зневоднення насіння кукурудзи були проведені дослідження із визначення схожості (пророщування), як фактору якості насінневого матеріалу. Температурні режими при зневодненні  $t = 50, 60, 70, 80$  °С;  $V = 3$  м/с;  $\varphi = 76$ . Результати досліджень кінетики сушіння будуть представлені в наступних публікаціях.

Метою дослідження є встановити кількість насінин у відсотках, здатних утворювати нормально розвинені проростки за оптимальних умов пророщування.

Процес пророщування кукурудзи поєднує у собі сукупність морфологічних, анатомічних і біохімічних змін, що відбуваються в насініні в період переходу із стану спокою до активної життєдіяльності та закінчується становленням проростка, який здатен вже самостійно рости і утворювати нову рослину [1].

Методи аналізування схожості насіння кукурудзи проведено за ДСТУ 4138-2002 [2], згідно якого для кукурудзи термін проведення аналізу становить 7-8 діб. Підрахунок накльонутих чи пророслих насінин починають із 3-4 дня.

Дослідні зразки насіння гібриду кукурудзи Р9718 були відібрані у Вінницькій області, село Вільшанка, та досліджені на конвективному експериментальному стенді, розробленому в ІТТФ НАН України [3].


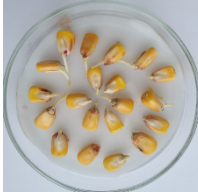

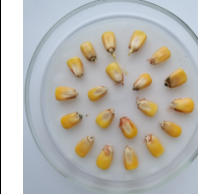
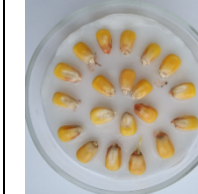
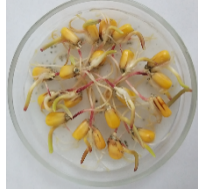


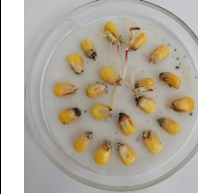
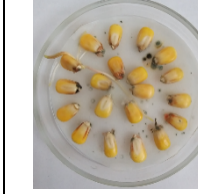

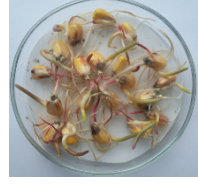

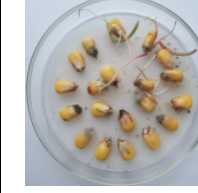
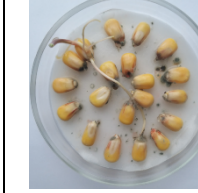



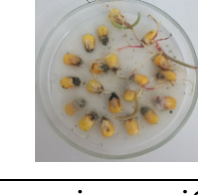
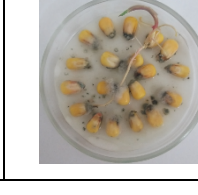
Як видно з таблиці 1, на третій день досліджень зразки вихідна сировина та режим 60 °С проросли на 100 %, режим 50 °С – на 90 %, а на п'ятий день вже 100 %. Температурні режими 70 °С має 10 %, а на сьомий день – 20 %. Навіть при режимі 80 °С цей гібрид показав 5 % пророщених зерен вже на третій день.

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

На сьомий та десятий день пророщування (табл. 1) пророслі зерна зразків вихідна сировина та температурні режими 50, 60 °С розвиваються нормально, мають сильно розвинені ростки та корінці.

Таблиця 1.

Фотографії дослідження схожості насіння гібриду кукурудзи Р9718

Схожість, доба	Вихідна сировина	Температура теплоносія, °С			
		50	60	70	80
3					
5					
7					
10					

Отже, результатами дослідження схожості насіння гібриду кукурудзи Р9718 підтверджено, що найбільш оптимальним режимом зневоднення насінневого зерна кукурудзи гібриду Р9718 є температура 50 – 60 °С із показником лабораторної схожості 100 %. Також виявлено, що цей гібрид є стійкішим, ніж гібрид Р9074 (при 80 °С - 0), оскільки навіть при температурі 80 °С він має 5 %.



### **Список літератури**

1. Стюрко М.О. Фактори формування та методи визначення схожості гібридів кукурудзи. Дисертація на здобуття кандидата сільськогосподарських наук. Дніпропетровськ, 2015, 181 с.
2. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості.
3. Zh. Petrova, Yu. Sniezhkin, K. Samoilenko (2021) Blending and drying of antioxidant raw materials. Monograph. LLC "Tvory", Vinnitsa, 107.

**СТЕНДИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ТЕМОЦИКЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ  
РІЗНОЇ В'ЯЗКОСТІ**

к.т.н., пр.н.с Демченко В.Г., к.т.н., пр.н.с Коник А.В., Фалько В.Ю.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

Мета досліджень – розробити та апробувати методику досліджень термоциклування багатоконпонентних матеріалів з фазовим переходом методом T-history, з метою застосування їх в системах зберігання теплової енергії.

Об'єкт досліджень – термоциклічність теплоаккумуляційного матеріалу з фазовим переходом. Під термоциклічністю слід розуміти здатність матеріалу з фазовим переходом багаторазово нагріватись і охолоджуватись за встановлений проміжок часу, а також здатність до багаторазової повторюваності попередньо встановлених результатів.

Предмет досліджень – багатоконпонентний теплоаккумуляційний матеріал з фазовим переходом.

На сьогоднішній день у світі бурхливо розвиваються технології, що дозволяють зберігати та акумулювати теплоту. Одним з перспективних і широко досліджуваних способів збереження теплової енергії є тепловий спосіб, що ґрунтується на здатності виділяти і поглинати теплоту матеріалами при фазовому переході [1, 2]. Робочим «тілом» таких технологій, як правило, є теплоаккумуляційні матеріали [3-5], що працюють в різноманітних температурних діапазонах. Одним з перспективних напрямків досліджень є пошук або створення теплоаккумуляційних матеріалів (далі ТАМ) з фазовим переходом. Тому потрібно впровадження експериментальних стендів, які дозволять проводити адекватні дослідження теплофізичних властивостей ТАМ. Створені стенди будуть використані при дослідженні термоциклічності природних та нових створюваних багатоконпонентний ТАМ з фазовим переходом, які планується використовувати в якості теплоаккумуляційного

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"** матеріалу в акумуляторах ємнісного типу. Де особливо важливим параметром є час зарядки та розрядки акумулятору, а також термін служби ТАМ, тобто його термоциклічність.

Для проведення експериментальних досліджень було створено лабораторні три експериментальні стенди, що представлені на рисунках 1-3. Основним вимірюючим елементом є мікропроцесорний модуль реєстрації сигналів термопар "TRITON 6004TC" призначений для реєстрації температури по 16 каналам за допомогою термопар і автоматичної компенсації температури холодного з'луту. Технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики "TRITON 6004TC"

Кількість термопар, що підключаються	16 (8 різ.)
Типи застосовуваних термопар	МК, ХА, ХК, ПП, ПР та ін.
Діапазон вхідної напруги	$\pm 19,5$ мВ, $\pm 39,0$ мВ, $\pm 1,17$ В
Тип датчика комп-ції холодного з'луту	РТ100, РТ1000
Інтерфейс обміну даними	USB
Швидкість обміну за інтерфейсом	до 115 200 біт/с
Тривалість циклу вимірів	4 с
Відносна похибка вимірів температур	$\pm 0,1$ °С

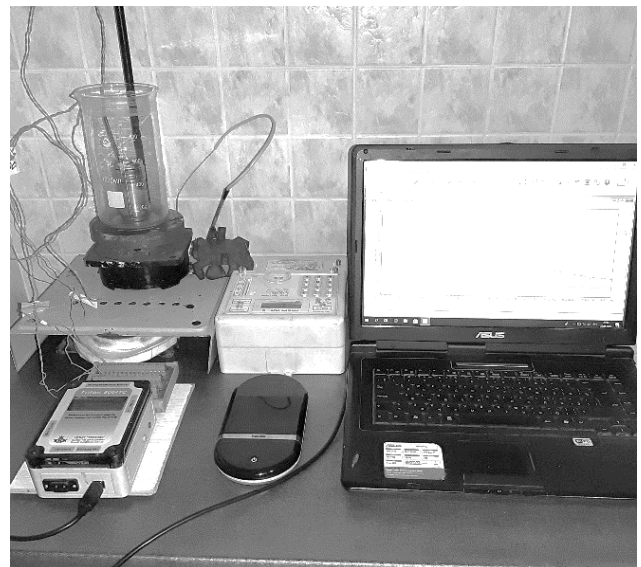
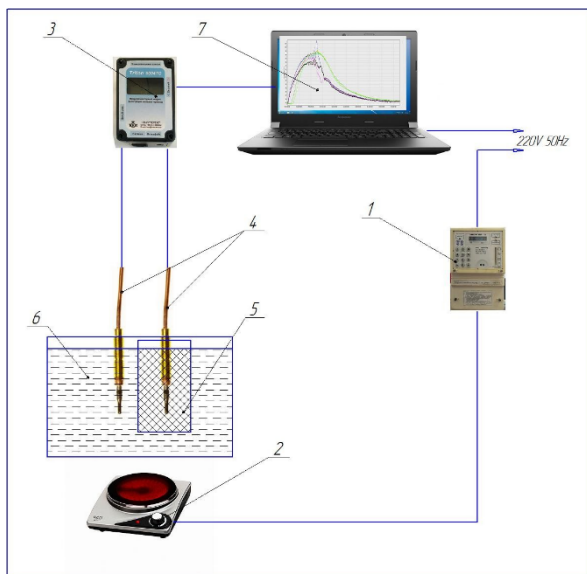


Рисунок 1. Принципова схема і фото стенду із застосуванням методу T-history [6]: 1 - лічильника електричної енергії (з функцією контролю сили струму та напруги), 2 - джерела теплоти, 3 - автоматичного цифрового перетворювача (АЦП), 4 - датчиків температури термопар, 5 - лунка, 6 - ємність, 7 - персональний комп'ютер (ПК).

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

Описана на рисунку 1 схема стенду дозволяє досліджувати:

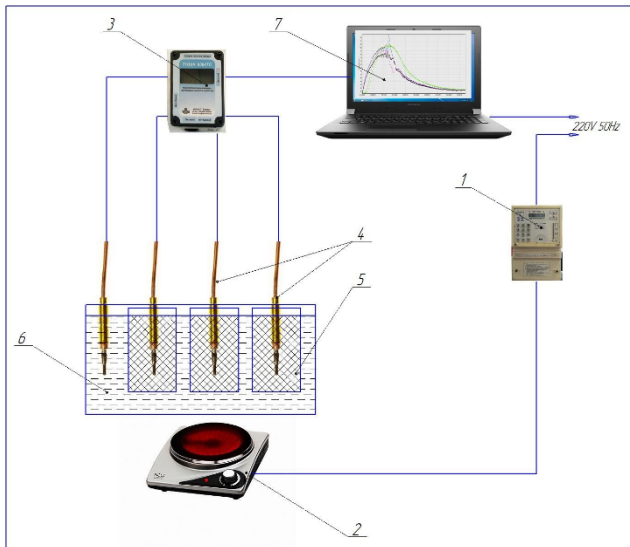
- один зразок ТАМ з фазовим переходом, що розміщується в лунці 5 і нагрівається/охолоджується водою, що заповнює ємність 6;
- один зразок ТАМ з фазовим переходом, що розміщується в лунці 5 та один зразок ТАМ який розміщується в ємності 6.

Методика проведення досліджень:

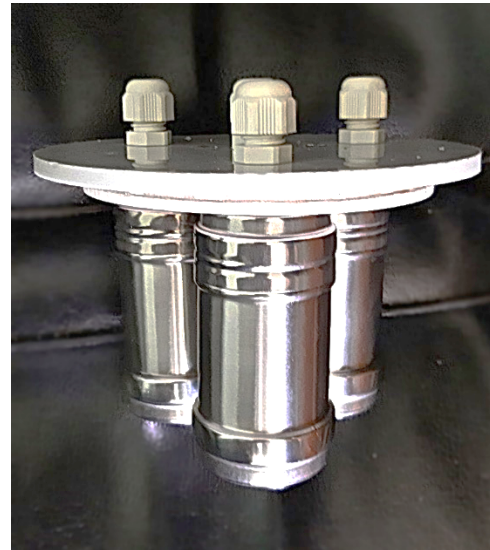
1. Заповни лунку 5 досліджуваною речовиною, об'ємом до 100 мл.
2. Встановити три термомпари 4 наступним чином:
  - по центру лунки 5 заповненої досліджуваною речовиною та герметично закрити її;
  - в ємності 6, що заповнена гріючою рідиною – водою або іншою досліджуваною теплоаккумуляційною рідиною;
  - «вільна» термомпара, що вимірює температуру оточуючого повітря.
3. Герметично закрити ємність 6 кришкою і встановити на джерело теплоти 2.
4. Увімкнути АЦП і впевнитись, що показники температури опорного каналу не відрізняються від показників контрольного датчика температури оточуючого повітря (на схемі не позначений) більше, ніж на 1 °С.
5. В ПК 7 увімкнути програму реєстрації показників температури АЦП і після стабілізації кривих на графіку увімкнути джерело теплоти 2.
6. Нагріти рідину в ємності 6 до температури кипіння, контролюючи напругу за показниками лічильника 1. В разі відхилення напруги більше, ніж на 10 % від номінальної, ввести в розрахунки коригуючі коефіцієнти.
7. Вимкнути джерело теплоти 2. Після досягнення в лунці 5 температури оточуючого повітря зберегти результати вимірів і вимкнути ПК 7.

Принципова схема експериментального стенда, що представлена на рисунку 2 дозволяє досліджувати одночасно декілька зразків ТАМ з фазовим переходом одночасно розміщуючи їх в лунках 5 під час одного експерименту. Або порівнювати роботу різних ТАМ розміщуючи їх в лунках 5 під час одного

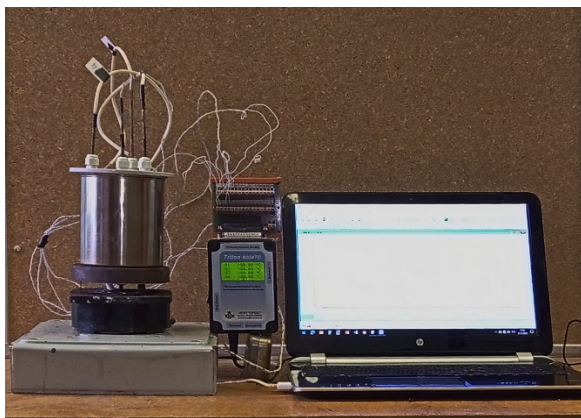
**Збірник тез доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"** експерименту. В останньому випадку необхідно в лунках 5 розміщувати зразки з однаковою масою, що дозволить отримати наочний результат на моніторі ПК 7.



а)



в)



б)

Рисунок 2. Принципова схема (а) і фото (б) стенду, із застосуванням методу T-history, розташування лунок 5 (в):

1 - лічильника електричної енергії (з функцією контролю сили струму та напруги), 2 - джерела теплоти, 3 - автоматичного цифрового перетворювача (АЦП), 4 - датчиків температури термопар, 5 – лунки, 6 - ємність, 7 – ПК.

Методика проведення досліджень за схемою представленою на рисунку 2:

1. Розташувати в лунках 5 досліджувану речовину, об'ємом до 100 мл. Методика досліджень передбачає можливість розташування в лунках різних зразків під час проведення експерименту.

2. Встановити термопары 4 по центру заповнених лунок та герметично закрити кожен лунку.

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

3. Залити визначений об'єм гріючої / охолоджуючої рідини в ємність 6. Герметично закрити ємність 6 кришкою і під'єднати до джерела теплоти 2.

4. Увімкнути АЦП і впевнитись, що показники температури опорного каналу не відрізняються від показників еталонного датчика температури оточуючого повітря (на схемі не позначений) більше, ніж на 1 °С.

5. В персональному комп'ютері 7 увімкнути програму реєстрації показників температури АЦП і після стабілізації кривих на графіку увімкнути джерело теплоти 2.

6. Нагріти рідину в ємності 6 до температури кипіння, контролюючи напругу за показниками лічильника 1. В разі відхилення напруги більше, ніж на 10% від номінальної, ввести в розрахунки корегуючі коефіцієнти.

7. Вимкнути джерело теплоти 2. Після досягнення зразками в лунках 1...3 температури оточуючого повітря зберегти результати вимірів і вимкнути персональний комп'ютер 7.

Дослідження попередньо відібраних зразків в умовах близьких до реальних експлуатаційних, можна на створеному стенді, що представлено на рисунку 3. Механізм і методика досліджень детально представлено та описано у попередніх роботах колективу [7]. Зауважимо, що в даному випадку можливо досліджувати процес термоциклування:

- ТАМ з фазовим переходом розташовано в об'ємі зовнішньої труби теплообмінного пристрою 2, нагрів/охолодження здійснюються в процесі циркуляції води;

- ТАМ з фазовим переходом розташовано в об'ємі зовнішньої труби теплообмінного пристрою 2, нагрів/охолодження здійснюються в процесі циркуляції теплоаккумуляційної рідини.

Принциповою відмінністю в схемах постановки досліджень є те, що в схемах представлених на рисунках 1 і 2 процес нагріву/охолодження здійснюється рідиною, що знаходиться в статичному стані. А, за схемою на рисунку 3 – відбувається процес циркуляції теплоносія.

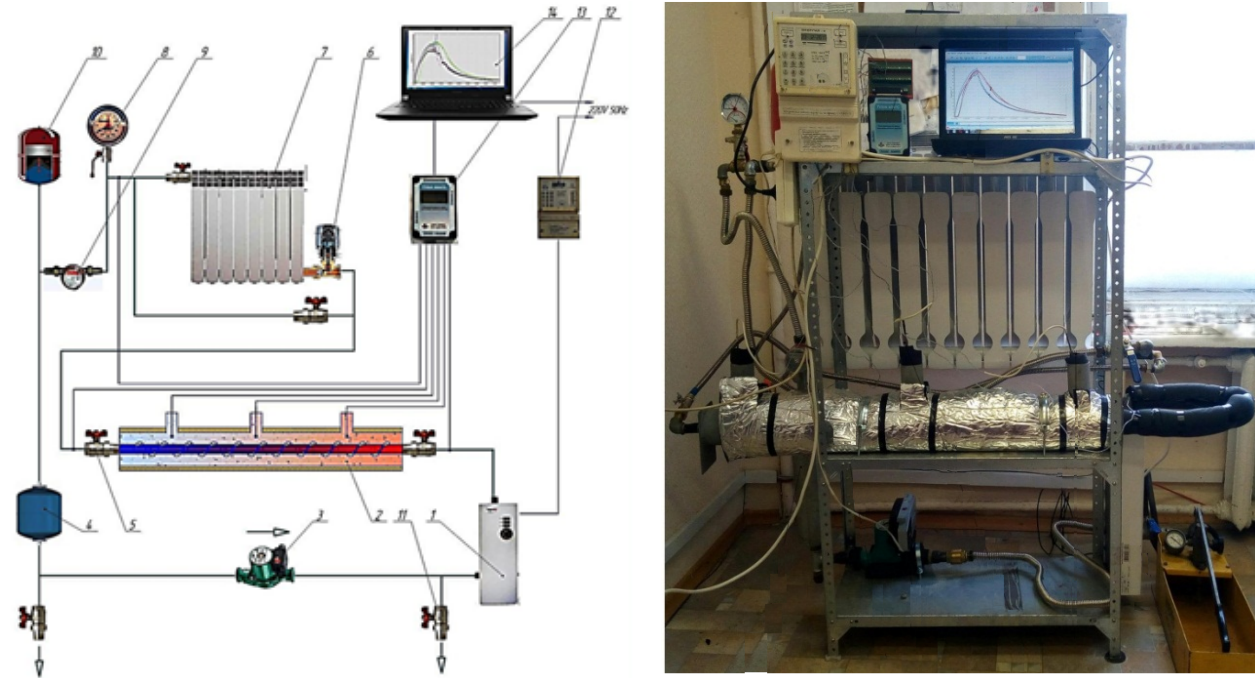


Рисунок 3 – Принципова схема і фото стенду [7]:

1 – котел електричний КЕО-Б; 2 – теплообмінний пристрій типу «труба в трубі»; 3 – насос циркуляційний VILOJET з системою управління; 4 – буферна ємність; 5 – вентиль регулювальний; 6 – регулятор Danfoss A/S; 7 – радіатор охолодження води; 8 - термоманометр; 9 – лічильник витрати води (механічний); 10 – бак розширювальний Sprut VT-5; 11 - вентиль прохідний; 12 - лічильник витрати електроенергії; 13 - – концентратор вимірювань TRITON 6004TC; 14 – комп’ютер з виносною веб камерою.

Після проведених досліджень отримані експериментальні значення оцінюють відносно достовірності проведених вимірювань за методикою представленою в [8-10]. Де визначається похибка вимірювань, що враховує середнє значення вимірювань  $\langle V_t \rangle$ , середнє квадратичне відхилення  $S_{V_t}$  та випадкова складова похибки  $\Delta_{V_t}$

Повна похибка:

абсолютна 
$$\Delta_{V_t} = \sqrt{S_{V_t}^2 + \Delta_{V_t}^2} \quad (1)$$

відносна 
$$\delta_{V_t} = \frac{\Delta_{V_t}}{\langle V_t \rangle} \quad (2)$$



***Перелік посилань***

1. Kumar, A., Shukla, S.K. (2015). A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. Energy Procedia, 74. 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.728>
2. Thermal energy storage  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_energy\\_storage](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_energy_storage)
3. Zalba, B., Marín, J.M., Cabeza, L.F., Mehling, H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications (Review) Appl Therm Eng, 23 (2003), с. 251 – 283 DOI: 10.1016/S1359-4311(02)00192-8
4. E. Oró, A.de Gracia, A.Castell, M.M.Farid, L.F.Cabeza. Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications Appl Energy, 99 (2012), с. 513 – 533, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058>
5. Demchenko V.G., Tselen B.J., Konyk A.V., Ivanov S.O (2020) Research of thermal cycling of organic substances with phase transition / Scientific discussion. Praha, Czech Republic, 2020, 1, 41, p. 54-58.
6. Коник А.В., Демченко В.В. (2020) Опис стенду і методика досліджень теплофізичних властивостей бінарних водних систем. Збірник тез доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, 21-22 травня 2020, с. 52-53
7. Demchenko V.G., Konyk A.V. (2020) Research of heat accumulation capacity binary water systems. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jac/papers/vol13-issue6/Series-1/A1306010107.pdf>
8. Савчук В.П. (2002) Обработка результатов измерений. Физическая лаборатория, [Учеб. пос. для студентов вузов] – Одесса: ОНПУ - Ч1. – 54 с.
9. Спиридонов В.П., Лопаткин А.А. (1970) Математическая обработка физико-химических данных / М: Издательство Московского Университета, – 221 с.
10. Ляликов Ю.С. (1973) Физико-химические методы анализа / [Изд. 5-ое, перераб. и доп] - М.: Химия,- 536 с.



## **MODERNIZATION OF RECTIFICATION COLUMN**

student M.I. Mudrik, Ph.D., assoc. Prof. A.R. Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

**ABSTRACT.** The purpose of the nozzle distillation column for the production of ethanol alcohol is described and its shortcomings are given, the methods of their elimination are presented, the advantages of the modernized column are formulated.

**KEY WORDS:** nozzle distillation column, ethanol, rectification, modernization, utility model, nozzle.

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ**

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

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**АНОТАЦІЯ.** Описано призначення насадкової ректифікаційної колони для виробництва етанолового спирту та наведено її недоліки, представлено методи їх усунення, сформульовано переваги модернізованої колони.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** насадкова ректифікаційна колона, етанол, ректифікація, модернізація, корисна модель, насадка.

The distillation column is used in distillation, in the processes of extractive distillation, extraction of liquids, heat transfer from steam to liquid, and vice versa, as well as in similar manipulations. If you use the standard method of distillation in a single evaporator, to obtain a quality product requires 8 to 10 cycles of distillation. With each new distillation, the percentage of low-boiling component at the outlet gradually increases. When assembling the column is mounted exclusively in a vertical position.

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

Raw materials are loaded into the tank, the next stage is heated. When the liquid begins to boil, the vapor gradually rises in the column. Eventually, it reaches the place where the reflux condenser is located - a refrigeration unit equipped with a sampling unit [1]. As a result, the liquid from this refrigeration unit, condensing there, is partially returned, and partially it is taken to the outlet. Flowing down the column, it meets the pair, entering into an intense interaction that occurs on a large number of small elements. At this time, condensation begins to form. The fact that part of the condensate is returned to the column, guarantees its stable and uninterrupted operation. There is a concept of reflux, which indicates the amount of condensate that went to the outlet and returned to the column. If you do not select part of the product, the value of the reflux number will be equal to infinity.

By interacting with phlegm, steam transfers to it substances that boil only at higher temperatures, as well as its own energy. In this case, substances with a lower high boiling point are sent to the upper part (Figure 1).

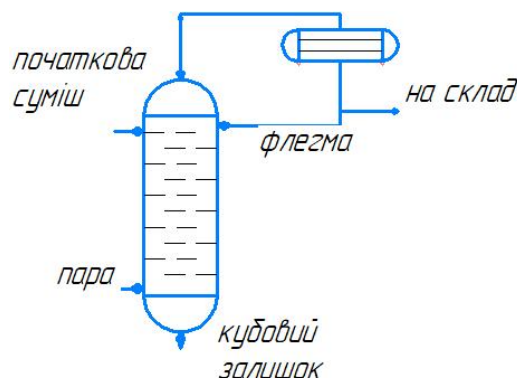


Figure 1 - Scheme of the column

As a result, substances are distributed more or less evenly: those that boil at high temperatures accumulate at the bottom, and those that do not require the maximum temperature accumulate at the top. This allows you to efficiently separate liquids with different boiling points.

An important part of the column during distillation are different types of nozzle nozzles. These are its internal elements, most of which are loose - irregular nozzles and regular nozzles - disc (cap). The task of the work is modernization. The

**Збірник тез доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"**  
advantages of disc (cap) nozzles include the difficulty of regulating the rectification process when changing productivity.

Based on the results of the work, the modernization of the distillation column was proposed, which consists in changing the shape of the cylindrical caps to a conical one, which should improve the hydrodynamic regime in the column and increase the column efficiency (Figure 2).

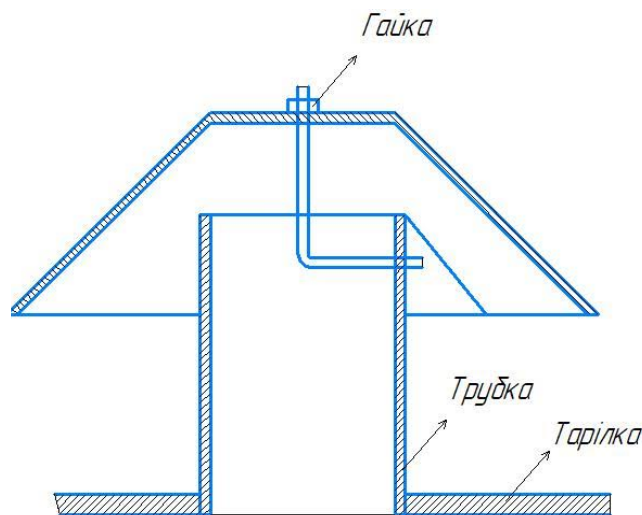


Figure 2 - Scheme of the modernized cap

#### References

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. - К.: НТУУ "КПІ", 2011. -Ч. 2. - 416 с.
2. Mudryk M.I., Modernization of oil cleaning installation with development of steaming column// Mudryk M.I.,Stepanyuk A.R. Збірник тез доповідей XXIX 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. – 86 с

**ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ  
ПРИ СУШІННІ ЗЕРНА**

д.т.н. Пазюк В.М.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

*Анотація.* Представлено заходи із зменшення енергетичних витрат на процес сушіння зерна із використання теплових насосів.

*Ключові слова:* енергоефективність, теплові насоси, сушіння, зерно.

**EXPENDITURE OF USING HEAT PUMPS  
FOR GRAIN DRYING**

Doctor of Technical Sciences Paziuk V.

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

*Abstract.* Measures to reduce energy costs for the process of drying grain using heat pumps are presented.

*Key words:* energy efficiency, heat pumps, drying, grain.

Одним із напрямків підвищення енергоефективності сушіння зерна є застосування теплових насосів, що дозволяє використовувати теплову енергію довкілля (води, ґрунту, повітря), яка за допомогою теплонасосних установок (ТНУ) переводить енергію низькопотенційних джерел у придатну для використання енергію.

Економічна доцільність використання ТНУ підтверджена світовим досвідом. Вже сьогодні у розвинутих країнах ТНУ широко використовуються для систем опалення та кондиціонування (США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), налагоджено промисловий випуск ТНУ у досить широких масштабах (США – 1 млн ТНУ щороку, у Японії – 3 млн) [1].

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

Основним узагальнюючим критерієм ефективності є коефіцієнт використання первинної енергії палива. Він визначається як відношення корисної теплоти до теплотворної здатності витраченого палива [1] (табл. 1).

Таблиця 1.

Коефіцієнт використання первинної енергії палива

Вид палива	Коефіцієнт використання
Електропідігрівання	0,27 – 0,35
Спалювання палива в теплогенераторі	0,75 – 0,95
Парокомпресійний тепловий насос з електроприводом	0,6 – 1,35
Парокомпресійний тепловий насос з тепловим двигуном	1,37 – 2,3

Співставлення альтернативних варіантів нагріву теплоносія за ступенем використання первинної енергії показує, що найменш енергоефективним є прямий електричний нагрів ( $K_{EL} = 0,27 - 0,35$ ), тому що на тепловій електростанції при виробленні електричної енергії на транспортування мережами втрачається в середньому 70% первинної енергії.

Нагрів теплоносія в теплогенераторі шляхом прямого спалювання палива в котельні призводить до втрат в середньому біля 15% первинної енергії. Значне коливання коефіцієнту первинної енергії залежить від конструкції теплогенератора і виду палива.

Для парокомпресійних теплових насосів з електроприводом коефіцієнт використання первинної енергії ( $K_{TH}$ ) дорівнює добутку коефіцієнта перетворення теплового насосу  $\mu$  і коефіцієнта використання первинної енергії при виробленні електроенергії ( $K_{EL}$ ):

$$K_{TH} = \mu \cdot K_{EL} \quad (1)$$

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

Коефіцієнт перетворення теплового насосу  $\mu$  залежить від різниці необхідної температури теплоносія і температури холодного джерела, термодинамічних властивостей робочої речовини і особливостей термодинамічного циклу та технічної досконалості конструкції.

Парокомпресійна теплонасосна сушильна установка працює таким чином. Зовнішнє повітря температурою  $t_o$  і вологістю  $d_o$  проходить через конденсатор теплового насосу 5 і нагрівається до температури  $t_a$  поступає в сушильну камеру з зерном 1 (рис. 1).

В процесі сушіння зерна теплоносії охолоджується до температури  $t_b$  з підвищенням вологості до  $d_b$ . Після цього відпрацьований теплоносії проходить через випарник теплового насосу 2 і охолоджується практично до температури середовища  $t_c$ .

Теплота відведена від теплоносія  $Q_{\text{вип}}$  сприймається робочою речовиною (холодоагентом) теплового насоса.

Пара холодоагенту відсмоктується компресором 4 і під тиском з температурою  $t_a$  подається в конденсатор 5, де вона конденсується, віддаючи теплоту повітря, що знаходиться. Сконденсований рідкий холодоагент через регулюючий вентиль 6 поступає у випарник 2 і цикл повторюється.

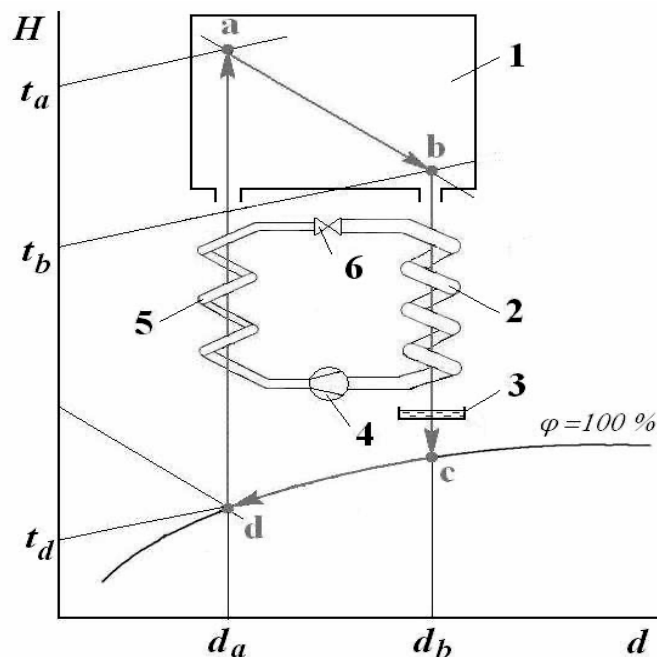


Рис.1. Процес теплонасосного сушіння в  $H-d$  діаграмі:

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

1 – сушильна камера; 2 – випарник; 3 – збірник конденсату;  
4 – компресор; 5 – конденсатор; 6 – регулюючий вентиль.

Теплота конденсації  $Q_k$  в теплонасосному циклі вище теплоти випаровування  $Q_{\text{вип}}$  на величину роботи компресора при стисненні пари холодоагенту.

Для більш детальної характеристики розглянемо доцільність використання теплових насосів із підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна (рис. 2).

Розроблена схема на рис. 2 показує застосування теплових насосів в процесі сушіння зерна через:

- використанням низькопотенційної теплоти альтернативних джерел енергії (сонячна, навколишнє середовище, геотермальні джерела) та сушіння насіння при постійній температурі сушильного агента 40 - 60°C, що залежить також від коефіцієнту перетворення теплового насосу;
- зниження втрат теплоти на сушіння зерна в прямоточних та рециркуляційних зерносушарках, через заходи направлені на рециркуляцію, утилізацію та рекуперацію теплоти відпрацьованого теплоносія і направлення в зону сушіння;
- комплекс заходів направлених на підвищення енергоефективності та інтенсивності сушіння із отриманням високої температури сушильного агента 80 - 90°C, а також виконання одночасно декількох технологічних операцій;
- заходи по енергозбереженню також залежать від типу робочої речовини в системі ТН, а також розробці та керуванні більш сучасних ТНСУ із коефіцієнтом перетворення 3 і вище [2 - 6].

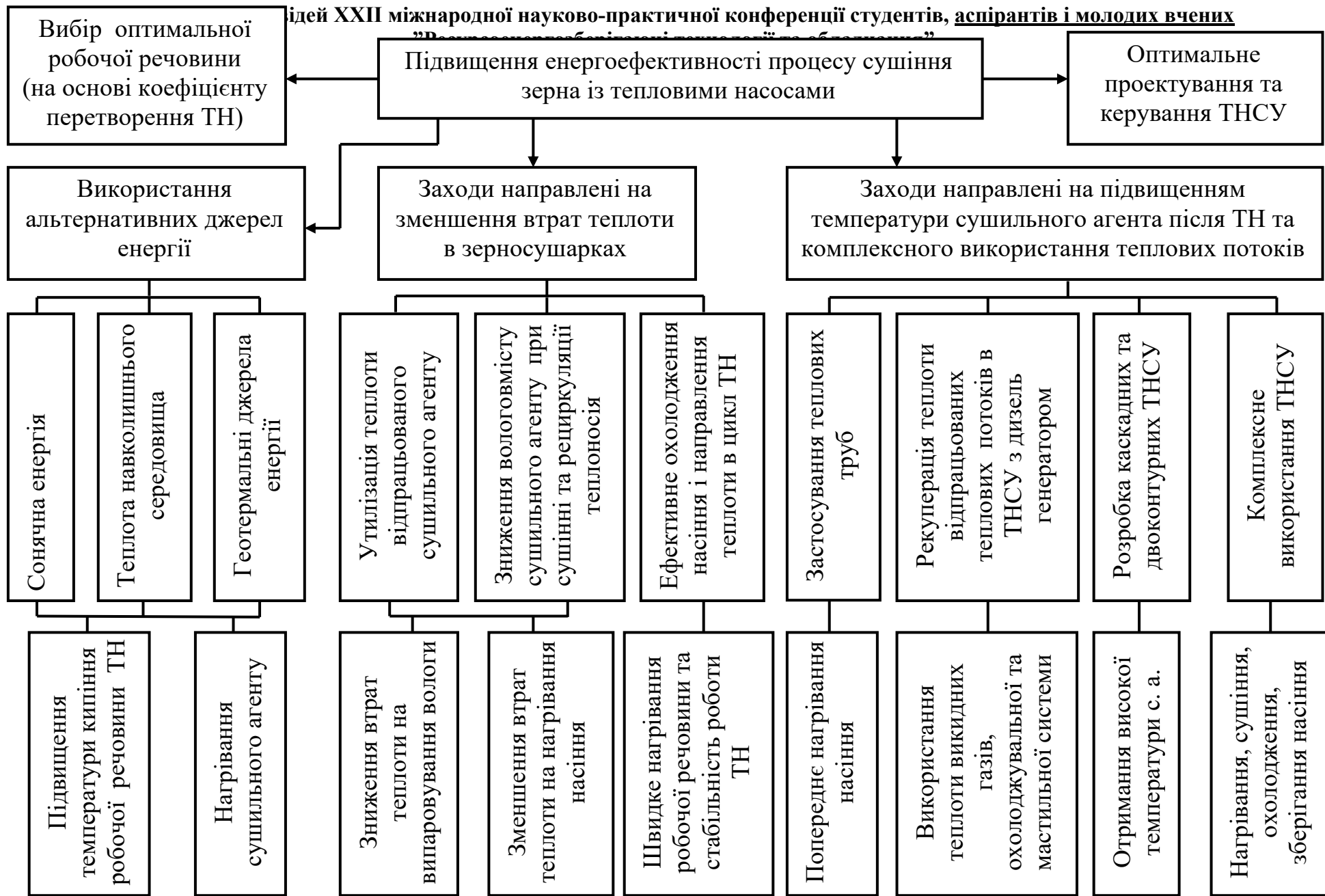


Рис. 2. Підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна із тепловими насосами



## **Література:**

1. Снежкін Ю. Ф., Чалаєв Д. М., Шаврин В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання. – Київ: «Поліграф-Сервіс», 2009. – 104 с.
2. Чайченец Н.С. Теплонасосные сушильные установки для зерна – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, (Обзорная информация. Сер. Элев. пром-сть). – 1990. – 52 с.
3. Файнзильбер Э.М. Теплонасосные установки в сельском хозяйстве – М.: ВНИИТЭИСХ ВАСХНИЛ (Обзорная информация) 1983. – 63 с.
4. Шевцов А.А., Дранников А.В., Крячко А.В. Алгоритм управления процессом сушки термолабильных материалов в двухступенчатой теплонасосной сушильной установке. Хранение и переработка сельхозсырья – 2006. – №10. – с. 79 – 80.
5. Калнинь И.М., Савицкий А.И., Пустовалов С.Б. Тепловые насосы нового поколения. использующие экологически безопасные рабочие вещества. Холодильная техника – 2007. – №1. – С. 47 – 49.
6. Пазюк В.М. Перспективы развития сушильной техники для сушки рапса и других зерновых культур. Тезиси 73 наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Частина II. Київ НУХТ. – 2007. – С. 39.

УДК 532.528

## СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ КАВІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ГІДРОНАСОСІВ

доц., к.т.н.Рубльов А.В.

### НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Загальноприйнятим у Європі позначенням кавітаційного запасу прийнято вважати аббревіатуру NPSH (Net Positive Suction Head). Характеристика NPSH відображає нездатність насосу створювати на вході абсолютний вакуум і забезпечувати всмоктування рідини з висоти рівною або більшою ніж 10,33 метра, що відповідає значенню атмосферного тиску на рівні моря. З фізичної точки зору параметр NPSH показує абсолютний тиск на вході в насос, достатнім для запобігання кавітації процесу. Кавітація буде супроводжувати спробу насосу здійснити підйом певної кількості води з глибини, що перевищує допустиму характеристиками висоту всмоктування.

Виробник насосного обладнання серед основних характеристик насосу вказує максимальну висоту всмоктування і надає характеристичну криву NPSH як функцію залежності від швидкості потоку рідини. Максимальна висота всмоктування і кавітаційна характеристика насоса NPSH взаємопов'язані:

$$H_{\max} = A - NPSH - H_{\text{asp}} - H_r, \text{ м,}$$

де  $A$  – абсолютний тиск в метрах на вільну поверхню рідини у всмоктувальній ємності. При всмоктуванні рідини з відкритого джерела, що знаходиться в прямому контакті з атмосферою, тиск  $A$  дорівнює атмосферному тиску;

$H_{\text{asp}}$  - втрати напору на подолання опору руху потоку рідини у всмоктуючому трубопроводі, м;

$H_r$  - тиск пароутворення рідини в метрах водяного стовпа;

**На** - значення необхідного NPSH, що впливає на подачу насосу: показники NPSH збільшується зі збільшенням швидкості потоку середовища, що перекачується.

Для забезпечення нормального режиму роботи насосу досить частково перекрити засувку в магістральному трубопроводі, знизивши, таким чином, продуктивність насосу. При необхідності забезпечити продуктивність насосу в умовах недостатнього кавітаційного запасу, вирішення проблеми може бути пов'язано зі збільшенням типорозміру насосу з більш низьким значенням NPSH при заданій продуктивності насосу.

Рівняння також показує, що ефективним способом збільшення допустимої висоти всмоктування виявляються, заходи, спрямовані на зниження загальних втрат на опір потоку у всмоктуючому трубопроводі. З цієї причини рекомендується застосовувати на лінії всмоктування трубопровід з внутрішнім діаметром, що не робить опір потоку всмоктуваної рідини. Для мінімізації втрат висоти всмоктування лінійна швидкість руху рідини у всмоктуючому трубопроводі не повинна перевищувати 1-1,5 м / с.

#### Література

1. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія / Т.М. Вітенько. – Тернопіль: в-во ТНТУ ім. І.Пулюя, 2009. – 224с.
2. Дячок В.В. Математична модель процесу екстрагування із рослинної сировини / В.В.Дячок // Хімічна промисловість України. – 2001. – №4. – С.52-55.
3. Витенько Т.М. Исследование механизма активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.М. Вітенько, Я.М. Гумницький // Химия и технология воды. – Киев, 2007. – №5. – С.422–432.
4. T.Vitenko. Kinetic laws of flavonoid extraction from mulberry leaves by extractant cavitation activation / T.Vitenko, Ya. Gumnitsky // Chemistry&Chemical Technology. – Lviv: Polytechnic National University, 2011. – V. 5, № 4, – P. 459-462.

УДК 66.21

## MODERNIZATION OF THE CASEIN DRYING MACHINE

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 design of the unit for drying casein in the vortex layer, which was developed at the Kiev Polytechnic Institute and is mass-produced, is considered. The shortcomings of this design are considered, the elimination of which is the purpose of the work. Modernization options are offered and the comparative table of indicators of the modernized device and analog of VS-300-KPI is resulted.

**Key words:** UNIT, MODERNIZATION, DRYING, VORTEX LAYER, CASEIN.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ АПАРАТУ ДЛЯ СУШІННЯ КАЗЕЇНУ

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.* Розглянуто конструкцію агрегату для сушіння казеїну у вихровому шарі, що був розроблений в Київському політехнічному інституті та випускається серійно. Розглянуті недоліки даної конструкції, усунення яких є метою роботи. Запропоновано варіанти модернізації та наведена порівняльна таблиця показників модернізованого апарату та аналогу ВС-300-КПІ.

**Ключові слова:** АГРЕГАТ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, СУШІННЯ, ВИХРОВИЙ ШАР, КАЗЕЇН.

The device of a vortex layer which is a part of the VS-300-KPI unit accepted in serial production received good responses of manufacturers of many plants of Ukraine.

However, along with significant advantages, some disadvantages were revealed: the unit body is made of stainless steel sheet 3 mm thick; there is no heat insulation of the unit body; increased product carryover when changing the containers collecting the collected product from the straight-through cyclone; insufficient degree of cleaning by the straight-through cyclone; product deposit in the horizontal sections of pneumotransport when the unit is stopped.

To eliminate the above drawbacks the modernization work was carried out: the device body is made of two parts, the inner, made of thin sheet (1.5 mm) stainless steel, and the outer power, made of carbon steel. The air gap between the walls performs the function of heat insulation.

The straight cyclone of the apparatus is replaced by a cyclone with a tangential inlet of the spent coolant. The cyclone is installed in the upper part of the drying chamber and replaces the roof of the apparatus-drying chamber. The product separated in the cyclone is continuously conveyed pneumatically to the dried product hopper.

The new design of the drying chamber provides thermal insulation of the cyclone and chamber reduces the size of the unit and the metal intensity of the construction.

The dried product is removed from the swirl layer by a pneumatic conveying pipe. The end of the pneumatic conveying pipe is mounted vertically in the dry product discharge area. The movable nozzle, dressed on the end of the pneumatic conveying pipe with the possibility to move, has a clamp, allowing to set the set height of the swirl layer. The vertical position of the pneumatic conveying tube prevents it from clogging when the unit is stopped.

The exhaust fan of the unit creates a vacuum in the storage hopper.

The new design of the gas distribution device provides increased stability of the swirl layer and reduces product pellet abrasion.

Comparative indicators of the developed apparatus with its analogue are shown in the table.

№	Indicators	Dimensional	Apparatus under development	Analog VS-300-KPI
1	2	3	4	5
1.	Performance			
	- on the dried product	kg/hour	240	200
	- by evaporated moisture	kg/hour	330	300
2.	Temperature:	°C		
	- at the entrance		140-150	130
	- on output		35-37	37
3.	Dimensions	mm	1000x2700	1240x2600
4.	Weight	kg	682	1180

**References:**

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б Сушка во взвешенном состоянии. – Изд. – 3-е, переработанное и доп. – Л.; Химия, 1979, - 272 с., ил.

**UDK 678.057.3**

**AIR CIRCULATION INSIDE THE PIPE DURING CALIBRATION**

lecturer assistant Podyman Hryhorii

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv**

**ABSTRACT.** *The influence of air circulation inside the pipe blank on cooling during calibration is considered.*

**KEY WORDS:** POLYMER, EXTRUSION, PIPE, POLYMER PIPE, AIR CIRCULATION.

**ЦИРКУЛЯЦІЯ ПОВІТРЯ ВСЕРЕДИНІ ТРУБИ ПРИ  
КАЛІБРУВАННІ**

Асистент кафедри МАХНВ Подиман Григорій

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний університет України  
імені Ігоря Сікорського»**

**АНОТАЦІЯ.** *Розглянуто вплив циркуляції повітря всередині трубної заготовки на охолодження під час калібрування.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПОЛІМЕР, ЕКСТРУЗІЯ, ТРУБА, ПОЛІМЕРНА ТРУБА, ЦИРКУЛЯЦІЯ ПОВІТРЯ.

Inside the polymer pipe passing through the calibration device is air. From the inlet of the pipe into the calibration device, the volume of air is limited by the end surface of the mandrel of the extruder head. In the original open section of the pipe formed at the stage of cutting the pipe, the air inside the pipe is in direct contact with the surrounding atmospheric air. Therefore, it can be assumed that the air pressure inside the pipe should be equal to or close to atmospheric pressure.

In the process of stationary movement of the pipe in the calibration device, air from the inner volume of the pipe is constantly removed into the atmosphere through the outlet section of the pipe. This is because the layer of air directly

adjacent to the inner wall of the pipe moves to the outlet with the speed of the pipe. As a result, the amount of air in the pipe is continuously reduced, so that the pressure inside the pipe becomes lower than atmospheric.

The nature of the circulating movement of air inside the pipe and changes in the magnitude of the velocity flow in the radial direction is schematically presented in Fig.1.

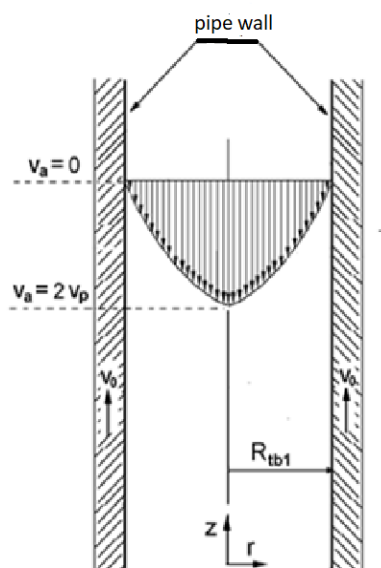


Figure 1 - Diagram of the flow of air circulating inside the billet relative to the stationary pipe

To estimate the pressure difference, we use the equation to write the equation for the maximum airflow rate in the form:

$$v_p = \frac{\Delta p_a}{8\mu_a L} R_{tb1}^2. \quad (1)$$

Then the pressure difference can be determined by:

$$\Delta p_a = \frac{8\mu_a L \cdot v_p}{R_{tb1}^2}. \quad (2)$$

The right part (2) includes known calibration parameters, which allows you to estimate the value  $\Delta p_a$ . Even an approximate estimate shows that the pressure drop is extremely small and does not exceed 1 Pa.



Using equation (1), we can estimate the volumetric flow rate of air from the pipe according to known parameters:

$$G_{ma2} = \frac{\pi v_p R_{tb1}^2}{4} R_{tb1}^2. \quad (3)$$

It is estimated that the volumetric flow rate of air leaving the calibration device is  $(1.0 \div 1.5) \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$  (approximately 1.5 l/s).

Therefore, the pressure drop in the pipe with the environment is quite low, so the airflow is almost absent and cannot affect the cooling process of the pipe blank.

### **References:**

1. Садова А. Н. Технология получения полимерных пленок из расплавов и методы исследования их свойств : навчальне видання. Казань: КНИТУ, 2013. 224 с.

2. Dvoinos Y.H., Podyman H.S., Rudnytskyi B.A. (2020). Calculation of the effective temperature difference during thermostabilization of calender shafts for formation sheets from thermoplastics / Modern engineering and innovative technologies, Issue 14 / Part 1, pp 23-27, 2020; DOI: 10.30890/2567-5273.2020-14-01-050. ISSN 2567-5273

3. Ильина В.В., Осмоловская Н.А., Зиненко Т.Н. Полимеры. Основы процессов переработки полимеров. *Охрана окружающей среды в технологии полимеров*: навч.-метод. посіб. / за заг. ред. С. С. Мнацаканова. Санкт-Петербург, 2011.

УДК 66.048.3

## THE USE OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

Andreiev Igor

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

*Abstract.* The advantages of using fiber-reinforced concrete products instead of concrete and reinforced concrete analogues are considered. The classification of dispersed reinforcement is given. The prospects of the vibroextrusion method of molding fiber-reinforced concrete products are shown.

*Key words:* fiber-reinforced concrete, dispersed reinforcement, vibroextrusion.

## ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРОБЕТОНУ

к.т.н., доц. Ігор Андреев

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

*Анотація.* Розглянуто переваги застосування фібробетонних виробів замість бетонних і залізобетонних аналогів. Наведена класифікація дисперсної арматури. Показана перспективність віброекструзійного способу формування фібробетонних виробів.

*Ключові слова:* фібробетон, дисперсна арматура, віброекструзія.

The global COVID-19 pandemic and the fighting in Ukraine have greatly contributed to rising prices and shortages of traditional building materials. In turn, the dispersed reinforcement of concrete makes it possible to improve almost all of its basic physical and mechanical characteristics by attracting fibers to work together with concrete when stresses occur. Therefore, the use of more efficient fiber-reinforced concrete products instead of concrete and reinforced concrete analogues is relevant in modern conditions.

Fiber-reinforced concrete (FRC) is [concrete](#) containing fibrous material which increases its structural integrity. It contains short discrete [fibers](#) that are uniformly distributed and randomly oriented.

The use of fibers to improve the properties of various materials has been known for a long time. Pottery reinforced with asbestos fibers has been found in Finland dating back to 2500 BC. Over 3,000 years ago, jute and horse hair were used to hold mortar together. Jute is an annual fibrous plant from the linden family, the most common in India. Jute fibers are well dyed. It is used for the manufacture of containers (bags), tarpaulins, ropes, upholstery fabrics, etc. Other examples include adobe (air-dried but unfired brick made of clay and chopped straw) and slate (construction products from cement mortar with asbestos fiber).

In 1907-1908 V. P. Nekrasov performed the first scientific experiments on uniform reinforcement of concrete volume with pieces of wire of small diameter in order to give it qualitatively new properties. Due to the low level of technical development at that time, dispersed reinforced concrete did not become widespread. In 1941, A. K. Burov first proposed to reinforce concrete with glass fibers. Commercial use of fiber-reinforced cementitious materials, with the exception of asbestos cement, began in the 1960s.

It is proposed to divide fibers into 2 categories depending on their modulus of elasticity:

1 – low-modulus (nylon, polypropylene, polyethylene, etc.);

2 – high modulus (steel, asbestos, glass, basalt, carbon).

Reinforcement with low-modulus fibers, highly stretchable, does not increase the strength of the composition in tensile and bending conditions (some researchers say that these figures are even reduced), but leads to the ability to absorb energy well. This also reduces the abrasion of the concrete material.

Fiber reinforcement of the second category improves the resistance of fiberglass to both impact and tensile (bending) the more the greater the ratio of the modulus of elasticity of the fibers and the matrix  $E_f/E_m$  under otherwise equal conditions [1].

To improve the performance of concrete in the stretched area, metal reinforcement is installed. However, in thin-walled structures this is not always possible due to the fact that to avoid corrosion of the reinforcement it is necessary to provide a proper protective concrete layer 20-30 mm thick. At least half of the concrete in a typical building component is used to protect the steel reinforcement from corrosion. Concrete using only fiber as reinforcement can result in saving of concrete [2].

Disperse reinforcement of concrete is a modern direction of improving almost all its basic physical and mechanical characteristics. A professional engineer and the director of marketing and technology, fiber reinforced concrete for the Euclid Chemical Company in Cleveland, Ohio *Michael Mahoney* provides 7 key benefits of fiber concrete: Cost-Effectiveness, Less Staff Required, Reduced Delays, Improved Long-Term Serviceability, Temperature & Shrinkage Reinforcement, Reduced Cost, Environmental friendliness [3].

A significant reduction in the viscosity of the matrix, at which it is possible to reinforce it with any fiber at low water-cement ratios and without the use of surfactants, can be achieved using the vibroextrusion molding method developed at the Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky. In addition, the vibroextrusion method makes it possible to orient the fibers along the formation

axis, i.e., to use the reinforcing properties of the fibers more efficiently and to obtain thinner products compared to traditional technology. Work on improving the vibroextrusion method of forming fiber-reinforced concrete products continues and is aimed at expanding the range of manufactured products.

**References:**

1. *Андреев И. А.* Процесс виброекструзии фибробетону: монография. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 194 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17692>.

2. Home Building Design + Construction. URL: <https://www.bdcnetwork.com>.

3. *Michael Mahoney.* 7 Key Benefits of Fiber-Reinforced Concrete. URL: <https://www.forconstructionpros.com/concrete/equipment-products/concrete-materials/article/21723039/the-euclid-chemical-company-7-key-benefits-of-fiberreinforced-concrete>.

UDC 66.081.63

**The trends of the development in mathematical simulation of pressure driven membrane processes: the analysis of publications in main scientific databases**

student Muzyka S.M., associate professor, Ph.D. Hulienko S.V.

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

The mathematical simulation is the important direction of pressure driven membrane processes investigation, which allows to increase the effectivity in designing and exploitation of membrane equipment, and also decrease of number of experimental researches. In work [1] the main trends in development in this field from 2000 to 2010 years were analyzed, and the perspectives for further investigation were determined. This work is an attempt to provide similar analysis for period of 2011-2020 years.

The leading scientific databases namely *ScienceDirect* [2], *Springer* [3], and *DOAJ* [4] were chosen for analysis. The distribution of publication dedicated to mathematical simulation of pressure driven membrane processes by years in database *ScienceDirect* is represented on figure 1, while the distribution by the processes is shown on figure 2. The similar distributions for *Springer* are represented on figures 3 and 4, and for *DOAJ* are shown on figures 5 and 6.

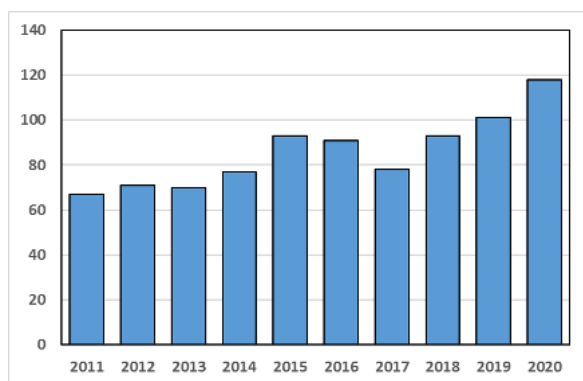


Figure 1 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure

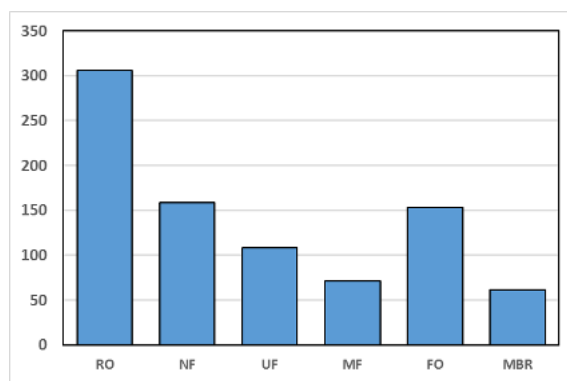


Figure 2 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure

driven membrane processes in *Scencedirect* database by years

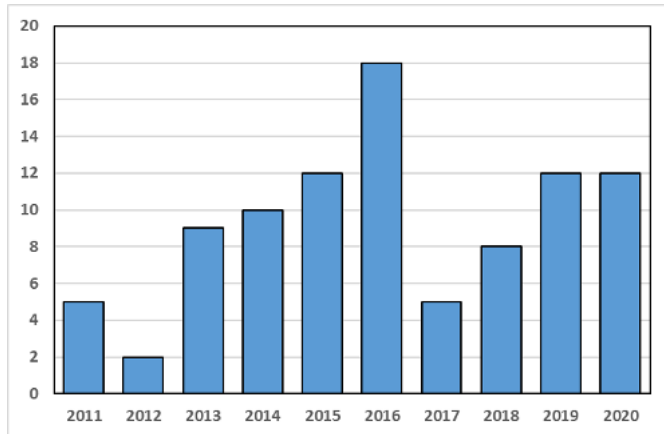


Figure 3 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure driven membrane processes in *Springer* database by years

driven membrane processes in *Scencedirect* database by processes

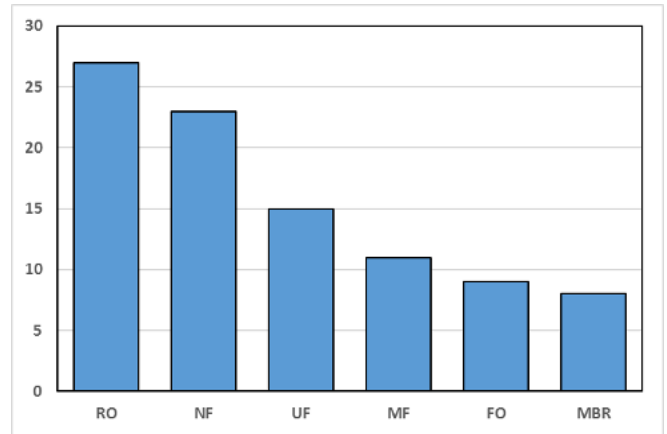


Figure 4 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure driven membrane processes in *Springer* database by processes

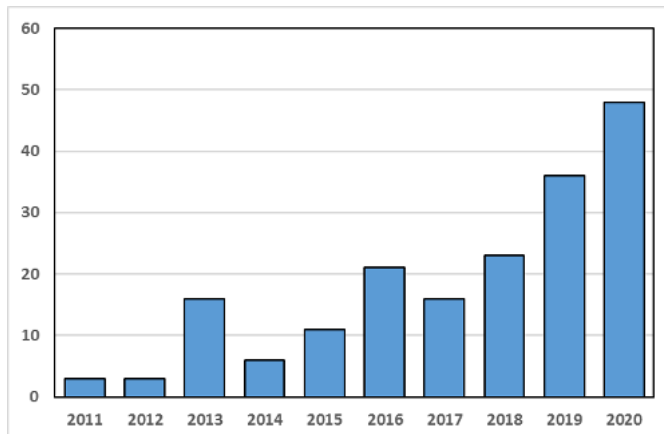


Figure 5 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure driven membrane processes in *DOAJ* database by years

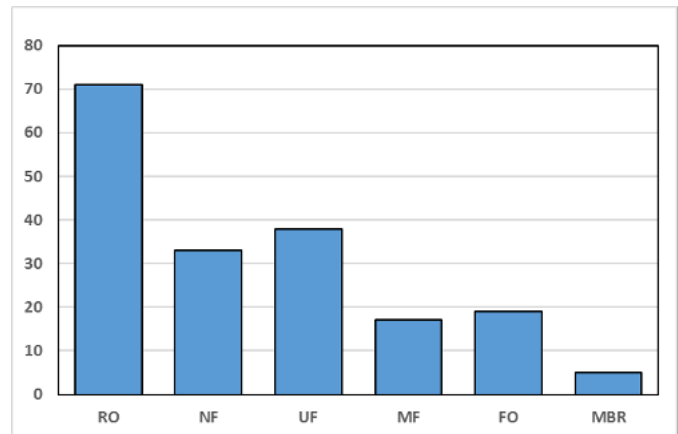


Figure 6 – The distribution of publications dedicated to the simulation of pressure driven membrane processes in *DOAJ* database by processes

The distributions of the sourced publication by years shows that in *ScienceDirect* database the stable high number of publications with sustainable tendency to growth in more recent years are is observed. This tendency is more clear in *DOAJ* database. At the same time, in *Springer* database the situation is

different namely the maximal number of publications is observed for 2016 year, that is in the middle of period under consideration. Moreover, the number of publication was lower than the others considered resources. Probably, this situation could be explained in following way. The most number of leading thematic journal (including *Journal of Membrane Science, Desalination, Separation and Purification Technologies*) are included into the *ScienceDirect* database, while the thematic journal in the *DOAJ* database became its activity more recent (*Mebranes* since 2011 and *Jornal of Membrane Science and Research* since 2015). At the same time in the *Springer* database the thematic journals are not represented and the results of the membrane processes investigation are published in the journals with more general topics.

It should be also noticed, that the most number of works were dedicated to the reverse osmosis (RO) process. The nanofiltration (NF) forward osmosis (FO) are also represented in quite a large number of publication. The ultrafiltration (UF), microfiltrarion (MF) and membrane bioreactors are represented on a smaller scale. This is corresponding to the general tendency, defined in work [1].

#### **Перелік посилань:**

1. Huliienko S. V. Korniienko Y. M., Gatilov K. O. (2020). Modern trends in the mathematical simulation of pressure-driven membrane processes. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 7(1), pp. F1–F21, doi: [https://doi.org/10.21272/jes.2020.7\(1\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(1).f1)
2. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [Electronic source] : [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/> (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen.



3. Home – Springer [Electronic source] : [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: <https://link.springer.com/> (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen..

4. Directory of Open Access Journals – DOAJ [Electronic source] : [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: <https://doaj.org/> (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen..

678.023

## MELT TEMPERATURE QUALITY CONTROL IN THE POLYMER DISC EXTRUSION PROCESS

PhD student Novodvorskiy V., Ph.D., Associate Professor Shved M.,  
Associate Professor Ivanitsky G.

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

**Abstract.** Various options for determining the temperature quality of the melt are analyzed, and the modes of cascade disc and gear extrusion with the possibility of determining and adjusting the temperature homogeneity of the melt in the process of operation at constant output are proposed.

**Key words.** Extrusion, polymer, melt, temperature homogeneity.

In the extrusion process the quality of the final product depends on the temperature homogeneity of the melt. A lot of works describe the possibility of determining the temperature homogeneity of the melt: by means of appropriate criterion equations or other dependencies given in mathematical models and confirmed by experimental or simulation studies [1,2]. A polymer disc extrusion process with the ability to determine and regulate the thermal homogeneity of the melt at a constant output is proposed.

In the extrusion process the pellets are dosed into the extruder where they are melted [3]. The melting of the pellets is due to the dissipative energy, which is a function of the total shear rate  $\gamma_{sum}$ . The dependence of dissipative heating intensity on shear rate is known to be determined by the formula [4]:

$$q_{diss} = \mu_{ef} \cdot \gamma^2 \quad (1)$$

where  $\mu_{ef}$  - is the effective melt viscosity, which is also a function of temperature.

Consequently, the melt temperature depends on the thermomechanical load, i.e. on the shear rate value  $\gamma_{sum}$ , and the temperature distribution depends on the shear rate distribution across the channel cross section  $\gamma_{sum} = f(r)$ . C. Rauwendaal [4] states that this is the reason for the unsatisfactory temperature homogeneity in single screw extruders. But in our proposed process it is possible to adjust the

thermo-mechanical load by changing the screw rotation speed by  $\pm 30\%$  of the nominal value  $\omega$  and the clearance width by  $\pm 2$  mm of the nominal value  $h$ . As shown in fig.1 and fig.2, by increasing the screw speed and(/or) decreasing the annular clearance width it is possible to increase the shear rate of the axial  $\gamma_{ax}$  and tangential melt flow  $\gamma_{tan}$  and respectively the total shear rate  $\gamma_{sum}$ , determined from the equation

$$\gamma_{sum} = \sqrt{\gamma_{ax}^2 + \gamma_{tan}^2} \quad (2)$$

The extruder operating conditions can then be selected such that the highest temperature homogeneity is achieved.

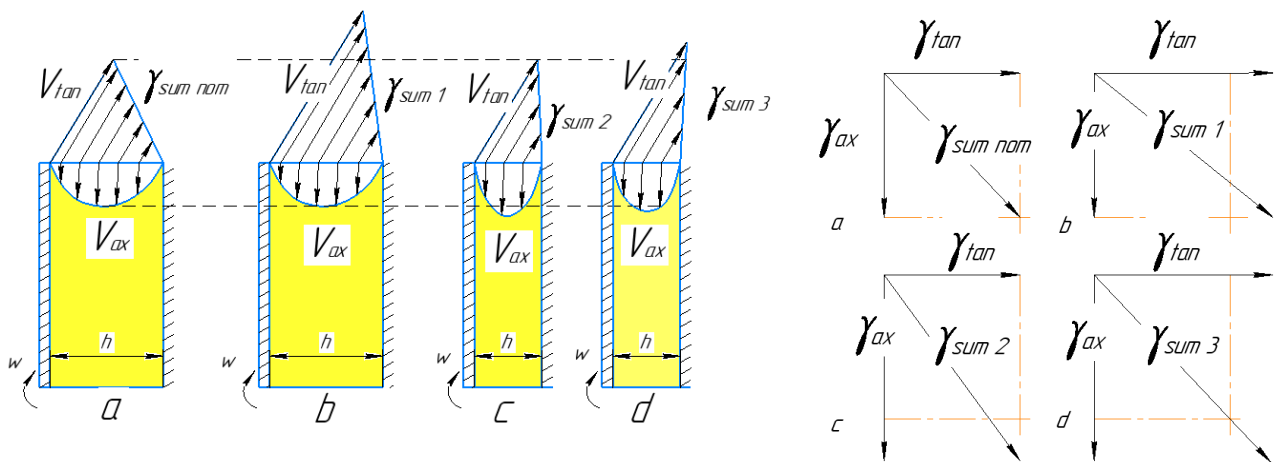


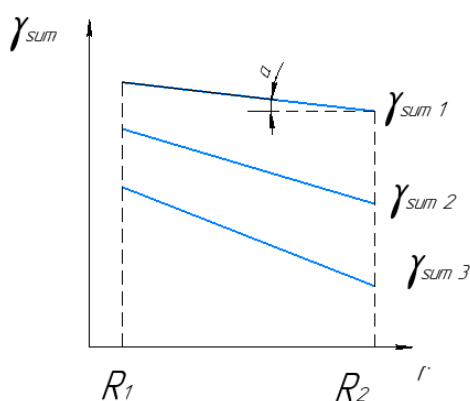
Fig.1. Distribution of axial  $v_{ax}$  and tangential velocity  $v_{tan}$  in the channel and total shear rate  $\gamma_{sum}$  versus nominal  $\gamma_{sum\_nom}$  with increasing screw speed  $\omega$  and reducing the annular clearance width  $h$

Fig. 2. Increase in axial, tangential and total shear rate with increasing screw speed and decreasing the annular clearance width.

In fig. 1 position (a) corresponds to the nominal values of screw speed  $\omega$  and the annular clearance width  $h$ . With increasing value  $\omega$  (b) and with decreasing the clearance width  $h$  (c) the tangential velocity  $v_{tan}$ , flow velocity  $v_{rad}$  and resulting total shear rate increase  $\gamma_{sum}$  respectively. An even greater increase in the value  $\gamma_{sum}$  is observed when the rotational speed increases together with a reduction in the clearance width (d).

In Figure 2, positions (a), (b), (c) and (d) correspond to the same positions in Figure 1.

It can be seen from figure 2 that the tangential ( $\gamma_{tan}$ ) and axial ( $\gamma_{rad}$ ) shear rates increase with increasing magnitude  $\omega$  and magnitude  $h$  respectively, and according to equation (2) the total shear rate ( $\gamma_{sum}$ ) must increase compared to the its nominal value  $\gamma_{sum\_nom}$ . According to equation (1), different values of the total shear rate lead to different degrees of dissipative heating and different values of melt temperature drop in the gap:  $\gamma_{sum1} \rightarrow \Delta T_1$ ,  $\gamma_{sum2} \rightarrow \Delta T_2$ ,  $\gamma_{sum3} \rightarrow \Delta T_3$ .



Therefore, as shown in fig. 3, from the values obtained ( $\gamma_{sum1}$ ,  $\gamma_{sum2}$ ,  $\gamma_{sum3}$ ) determine the one, which will provide the minimum temperature inhomogeneity  $\Delta T_{min}$ .

Fig. 3- Distribution of total shear rate in the channel,  $R_1$  and  $R_2$  are the radii of the disc and casing between which the melt flows.

### References:

1. Wood A.K. (2005), Determination of melt temperature and velocity profiles in flowing polymer melts. /Anais do 8-th Congresso Brasileiro de Polímeros (6-10 de novembro, 2005), 1378-1381
2. Abeykoon, C., Martin, P. J., Kelley, A. L., Li, K., Brown, E. C., & Coates, P. D. (2014). Investigation of the Temperature Homogeneity of Die Melt Flows in Polymer Extrusion. Polymer Engineering and Science, 54(10), 2430-2440.
3. 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;
4. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ, под ред. А. Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2006. – 768 стр.

UDC 628.1:3:532.528

**DEVELOPMENT CONCEPT OF A SCHEME TECHNOLOGY FOR THE INTENSIFICATION OF THE WASTEWATER TREATMENT WITH USING HYDRODYNAMIC CAVITATION**

d.t.s. Ivanytskyi H.K, c.t.s. Tselen B. Ya., c.t.s. Radchenko N.L.,

Chief technologist Shchepkin V.I.

Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine

**ABSTRACT:** The authors experimentally studied the peculiarities of the process of wastewater treatment of the dairy industry in the conditions of hydrodynamic cavitation. It is determined that the cavitation method of wastewater treatment can be used as an independent method and combined with other methods.

**АНОТАЦІЯ:** Авторами експериментально вивчено особливості процесу очищення відходів виробництва стічних вод молочної промисловості в умовах гідродинамічної кавітації. Доведено, що кавітаційний метод очищення стічних вод може використовуватись самостійно або ж у поєднанні з іншими методами.

**Key words:** cavitation method of purification, milk whey, wastewater.

In recent years, the requirements for the content of pollutants in production waste have been increasing. In particular, in the wastewater of dairy industry enterprises that falls into treatment systems. Sewage wastes of the dairy factory consist of industrial waste products – water from rinsing, sludge, permeate, salty milk whey, production and sanitary defect and is cleaned at local treatment plants of the enterprise in accordance with the requirements of regulatory documentation in the field of water supply and sewerage at the enterprise. After which they enter water bodies or the city sewerage system.

The authors proposed the concept of a scheme technology for the intensification of the wastewater treatment process of the dairy industry using

controlled hydrodynamic cavitation. To develop the scheme of technology, we used a cavitation reactor for grinding fibrous materials. The liquid part of cavitation reactor consists of a impeller (cavitator) planted on the shaft of an electric motor equipped with a frequency converter, a standard confusor, neck (diameter 55 mm, length 67.5 mm) and diffuser. Speed in the neck of  $6.8 \div 8.2$  m/s and pressure in the impeller area of  $0.15 \div 0.22$  MPa. The study carried out with the duration of processing 90 s and different values of the number of cavitation – 1.8; 0.6 and 0.3.

Analysis of the obtained fractional distribution of the size (diameter) of fat drops of milk whey (Figure 1) shows that with a processing time of 90 s and the number of cavitation 0.3, the average diameter of fat drops is 2.6 microns. At the same time, the vast majority are fat drops with a diameter of less than 2 microns.

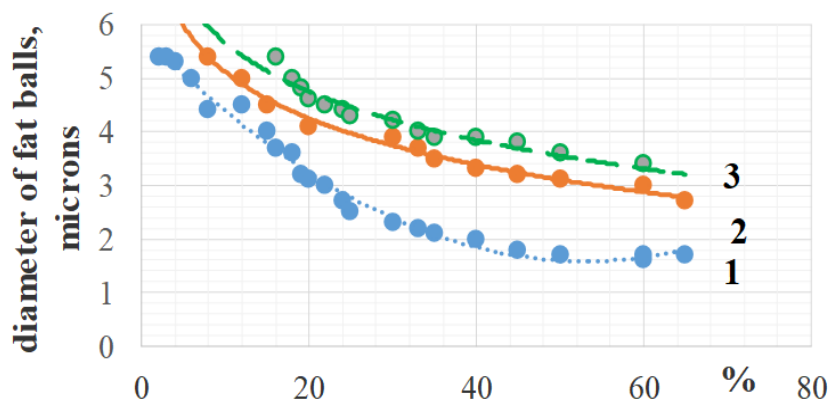


Figure 1 – Fractional distribution of the size (diameter) of fat drops of milk whey after 90 s of cavitation treatment at different values of the number of cavitation: 1 –  $\sigma = 0.3$ ; 2 –  $\sigma = 0.6$ ; 3 –  $\sigma = 1.8$

**Conclusions.** In this report provides the results of experimental studies for the development of the technology scheme concept to intensify the process of treatment of dairy industry sewage with the use of hydrodynamic cavitation method are presented. It is determined that the cavitation method of wastewater treatment can used as an independent method and combined with other methods.

УДК 631.527:633

**Використання екструзійних технологій при отриманні сухих дієтичних сумішей**

д.т.н.,с.н.с. Іваницький Г.К., к.т.н.,с.н.с. Целень Б.Я., к.т.н.,с.н.с. Ганзенко В.В., к.т.н.,с.н.с. Радченко Н.Л.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**АНОТАЦІЯ:** В роботі доведено доцільність використання екструзійного методу обробки голозерного вівса в складі сухих дієтичних сумішей. Експериментальним шляхом встановлено, що обробка в екструдері голозерного вівса забезпечує високу якість кінцевої сухої суміші та подовжує термін її зберігання. Визначено необхідність введення етапу обов'язкового механічного подрібнення екструдату на млині та оптимальний діапазон розміру частинок, який забезпечить рівномірне набухання при подальшому приготуванні.

**ABSTRACT:** The article proves the prospects of using an extruder for processing naked oats in dry mixes. It is experimentally determined that the processing in the extruder provides high quality product and increases the shelf life. The need for mandatory mechanical grinding of the extrudate at the mill has been determined. Determined the optimal range of particle size, which will ensure uniform swelling of the mixture during its preparation.

**Ключові слова:** голозерний овес, екструдер, сухі дієтичні суміші.

Дієтичне харчування з кожним роком набуває все більшої популярності в Україні і світі. При цьому, спостерігається зростання попиту на продукти основу яких складає голозерний овес. В Україні відсоток переробки голозерного вівса низький через те, що основна частина врожаю (85%) іде на експорт в інші країни. При цьому, виникає дефіцит дієтичної продукції на внутрішньому ринку. У зв'язку з цим, першочерговим завданням є його

подолання, а це можливо за рахунок розробки нових технологій виробництва дієтичних продуктів та нових рецептур.

В рамках даної проблематики в ІТТФ НАНУ проводяться дослідження з метою розробки нових рецептур сухих дієтичних сумішей основу складу яких становить екструдований голозерний овес.

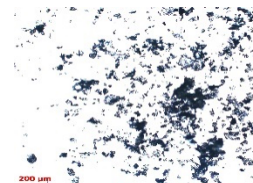
В результаті проведеного комплексу експериментальних досліджень доведено доцільність використання екструзійного методу обробки голозерного вівса для отримання сухих дієтичних сумішей. Зокрема, аналіз зразків показав, що в ході екструзії досягнуто руйнування структури зерна до клітинного рівня, желатинізації крохмалю, виділення жиру та утворення пористої структури, яка мала вигляд спученого стренгу (рис. 1а). Як результат це дозволило поліпшити якість продукту за рахунок підвищення його поживної цінності та збільшити термін зберігання за рахунок високотемпературної обробки. Однак, розміри утворених сипучих стренг, незалежно від режимів екструзії, показали необхідність введення додаткового етапу механічного подрібнення екструдату на млині (рис. 1б).



а)



б)



в)

а – стренг; б – подрібнений на млині стренг; в – мікроструктура подрібненого стренгу.

**Рисунок 1 – Екструдований голозерний овес**

Встановлено, що оптимальний розмір частинок після подрібнення на млині має складати від 40 до 80мкм. (рис. 1в), а їх діапазон має знаходитись у вузьких межах для забезпечення рівномірного набухання сухої суміші.

**Висновки.** Отримані результати показали можливість одержання високоякісних сухих дієтичних сумішей на основі екструдованого



голозерного вівса з тривалим терміном зберігання. Встановлено необхідність введення обов'язкового етапу механічного подрібнення на млині для забезпечення однорідності дисперсного складу. Визначено, оптимальний розмір частинок, та їх діапазон.

UDC 628.1:3:532.528

**EFFECT OF HYDRODYNAMIC CAVITATION ON THE PROCESS OF WASTEWATER TREATMENT OF DAIRY INDUSTRY**

d.t.s. Ivanytskyi H.K, c.t.s. Tselen B. Ya., c.t.s. Radchenko N.L.,  
Chief mechanic Shulyak V.V.

Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine

**ABSTRACT:** In this report presents the results of research aimed at developing the concept of a technology scheme for intensifying the process of waste treatment of waste production of wastewater of the dairy industry using the method of hydrodynamic cavitation. The results showed that the effect of purification during cavitation can be achieved in shorter than turbulent stirring and in the future can be realized as an independent method.

**АНОТАЦІЯ:** Представлено результати досліджень, що стали основою при розробці концепції схеми технології для інтенсифікації процесу очищення відходів виробництва стічних вод молочної промисловості із застосуванням методу гідродинамічної кавітації. Доведено, що ефект очищення під час кавітації досягається за коротший час аніж при турбулентному перемішуванні і в подальшому може використовуватись як самостійний метод.

**Key words:** cavitation method of purification, milk whey, wastewater.

Authors consider the concept of a scheme technology for the intensification of the wastewater treatment process of the dairy industry using controlled hydrodynamic cavitation. The phenomenon of hydrodynamic cavitation creates strong discrete-impulse dynamic effects on the disperse system that is processed. It also creates a directed effect on micro- and nano- levels on submolecular structures, cells of microorganisms, the course of chemical and biochemical reactions in solutions.

In order to study the mechanism of influence of cavitation on polydisperse systems, the authors conducted experimental studies. In particular, effect of cavitation treatment duration on the effect of purification of milk whey by fats, on suspended substances, chemical oxygen consumption and biological oxygen consumption. As a polydisperse system, samples of wastewater of the dairy industry were taken.

Figure 1 showed the results of the study of the effect of cavitation treatment duration (at the value of the number of cavitation 0.3) on the effect of purification of milk whey by fats, on suspended substances, chemical oxygen consumption and biological oxygen consumption. It is established that with an increased duration of processing, the concentration of fat decreases by 22%, suspended substances by 15÷18%, chemical oxygen consumption by 8÷10% and biological oxygen consumption by 3÷5% (figure 1a). Figure 1b shows the results of the study with similar treatment parameters for the effect of wastewater treatment of fats, suspended substances, chemical oxygen consumption and biological oxygen consumption.

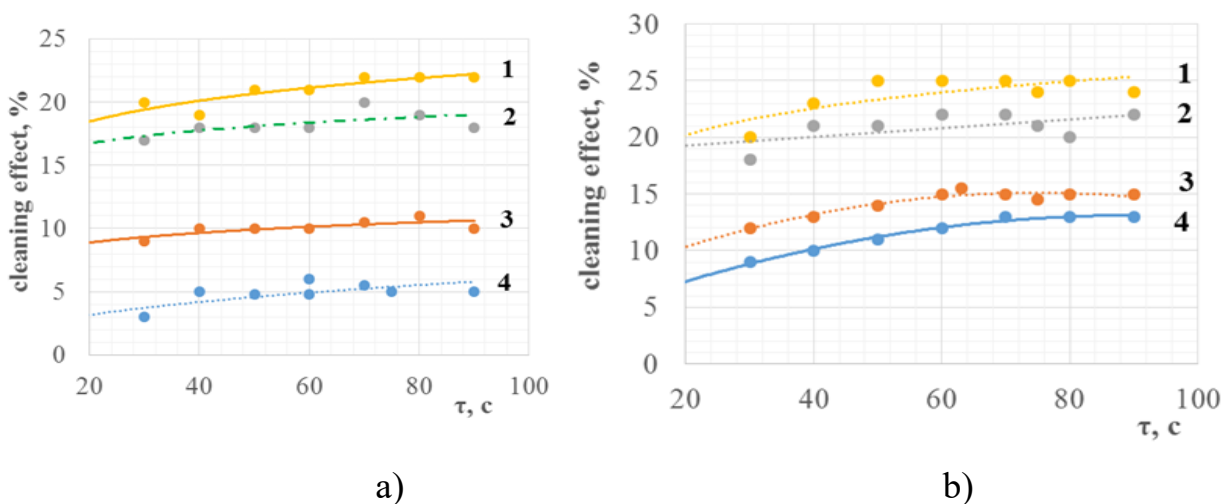


Fig. 1 – Dependence of the effect of purification from the duration of cavitation treatment a - milk whey; b - sewage: 1 – of fats; 2 – in suspended substances; 3 – by chemical oxygen consumption; 4 – by biological oxygen consumption.

From the resulting dependence, it can be seen that with a duration of cavitation treatment of 60÷90 s with a cavitation number of 0.6÷0.3, the concentration of fat decreases by 20÷25%, suspended substances by 22%, chemical oxygen consumption 12÷15%, biological oxygen consumption by 9÷12%.

**Conclusions.** The results of conducted experimental studies on the study of regularities of purification of milk whey, sewage in cavitation flow show that the effect of purification during cavitation can be, achieved in a short time than in turbulent stirring.

УДК 631.527:633

**Отримання сухих сумішей з використанням  
екструдованого голозерного вівса**

д.т.н.,с.н.с. Іваницький Г.К., к.т.н.,с.н.с. Целень Б.Я.,  
к.т.н.,с.н.с. Радченко Н.Л.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**АНОТАЦІЯ:** В роботі доведено доцільність використання екструзійного методу обробки голозерного вівса в складі сухих дієтичних сумішей. Експериментальним шляхом встановлено, що обробка в екструдері голозерного вівса забезпечує високу якість кінцевої сухої суміші та продовжує термін її зберігання. Визначено необхідність введення етапу обов'язкового механічного подрібнення екструдату на млині та оптимальний діапазон розміру частинок, який забезпечить рівномірне набухання при подальшому приготуванні.

**ABSTRACT:** The article proves the prospects of using an extruder for processing naked oats in dry mixes. It is experimentally determined that the processing in the extruder provides high quality product and increases the shelf life. The need for mandatory mechanical grinding of the extrudate at the mill has been determined. Determined the optimal range of particle size, which will ensure uniform swelling of the mixture during its preparation.

**Ключові слова:** голозерний овес, екструдер, сухі дієтичні суміші.

Дієтичне харчування з кожним роком набуває все більшої популярності в Україні і світі. При цьому, спостерігається зростання попиту на продукти основу яких складає голозерний овес. В Україні відсоток переробки голозерного вівса низький через те, що основна частина врожаю (85%) іде на експорт в інші країни. При цьому, виникає дефіцит дієтичної продукції на внутрішньому ринку. У зв'язку з цим, першочерговим завданням є його

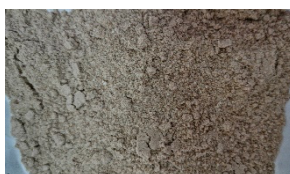
подолання, а це можливо за рахунок розробки нових технологій виробництва дієтичних продуктів та нових рецептур.

В рамках даної проблематики в ІТТФ НАНУ проводяться дослідження з метою розробки нових рецептур сухих дієтичних сумішей основу складу яких становить екструдований голозерний овес.

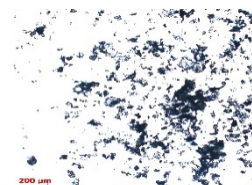
В результаті проведеного комплексу експериментальних досліджень доведено доцільність використання екструзійного методу обробки голозерного вівса для отримання сухих дієтичних сумішей. Зокрема, аналіз зразків показав, що в ході екструзії досягнуто руйнування структури зерна до клітинного рівня, желатинізації крохмалю, виділення жиру та утворення пористої структури, яка мала вигляд спученого стренгу (рис. 1а). Як результат це дозволило поліпшити якість продукту за рахунок підвищення його поживної цінності та збільшити термін зберігання за рахунок високотемпературної обробки. Однак, розміри утворених сипучих стренг, незалежно від режимів екструзії, показали необхідність введення додаткового етапу механічного подрібнення екструдату на млині (рис. 1б).



а)



б)



в)

а – стренг; б – подрібнений на млині стренг; в – мікроструктура подрібненого стренгу.

**Рисунок 1 – Екструдований голозерний овес**

Встановлено, що оптимальний розмір частинок після подрібнення на млині має складати від 40 до 80мкм. (рис. 1в), а їх діапазон має знаходитись у вузьких межах для забезпечення рівномірного набухання сухої суміші.

**Висновки.** Отримані результати показали можливість одержання високоякісних сухих дієтичних сумішей на основі екструдованого

голозерного вівса з тривалим терміном зберігання. Встановлено необхідність введення обов'язкового етапу механічного подрібнення на млині для забезпечення однорідності дисперсного складу. Визначено, оптимальний розмір частинок, та їх діапазон.

**УДК 661.844**

**THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF THE BARIUM  
CHLORIDE CONCENTRATION BY REVERSE OSMOSIS**

Student Yasenchuk V.V., associate professor, Ph.D. Huliienko S.V,

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

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)[1-2]. It has a high solubility in water, which increase with the temperature increasing. During heating over  $113^\circ\text{C}$  barium chloride lost the water of crystallization and transform to the white powder. In in anhydrous form it has the density of  $3.86 \text{ g/sm}^3$  and melted under  $962^\circ\text{C}$  [3].

The barium chloride has a wide range of applications in industry and agriculture.

In agriculture, the barium chloride is used as poison for the pest of horticultural and garden crops.

The water solution of barium chloride with concentration of 3-5% is an enteric poison for many pests, for example white beet pests (*Asproparthenis punctiventris*), cotton plant, vegetable plant crops, vine shoot, berry and orchard crops, clover, Lucerne and others field grasses.

In industry, the anhydrous form of barium chloride ( $\text{BaCl}_2$ ) is used primarily as an ingredient in heat-treating salts and metal fluxes--molten baths used to harden metal parts, usually small specialty steel parts such as tools and dies. 30. 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. [2].



There are many methods for obtaining of barium chloride, but in industry the hydrochloric acid and calcium chloride methods are most widely used. The sodium chloride, ammonium chloride, magnesium chloride chore and others methods do not have wide range of application despite some of them may be effective.

In technological scheme of the calcium chloride methods the concentration of barium chloride and calcium solutions are realized in vacuum evaporation plants. This is serious disadvantage of this method since high energy requirements. As it was shown in work [1], the analysis of the costs of barium chloride production has a significant importance. The increasing of the energy effectivity of barium chloride production is possible by including the reverse osmosis before evaporation stage. This allow to decrease of the steam requirements in evaporator, since the reverse osmosis require much less energy for the concentration. However, the data about effectivity of reverse osmosis separation of barium chloride solution are insufficient.

For testing of the hypothesis about the possibility of the reverse osmosis separation of barium chloride solutions with satisfactory effectiveness the experiments were carried out. The results are shown of the figure 1 and 2.

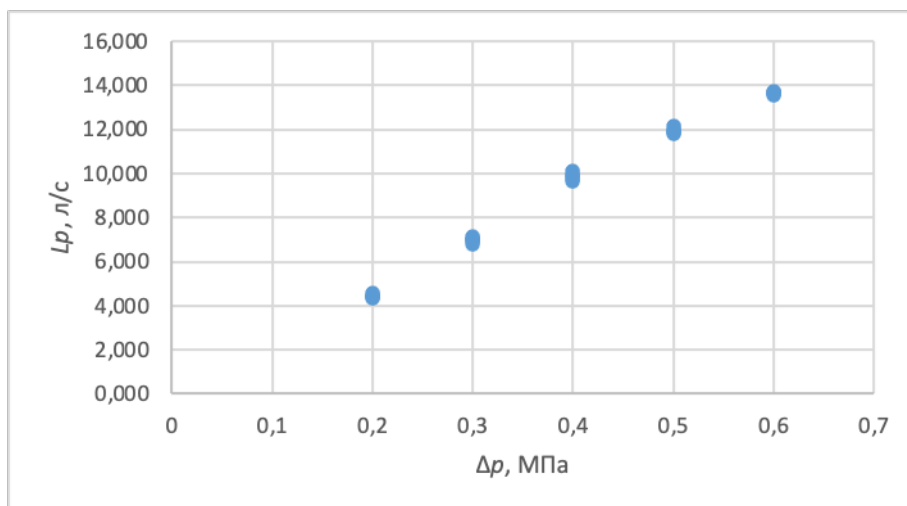


Figure 1. – The transmembrane flux vs. applied pressure

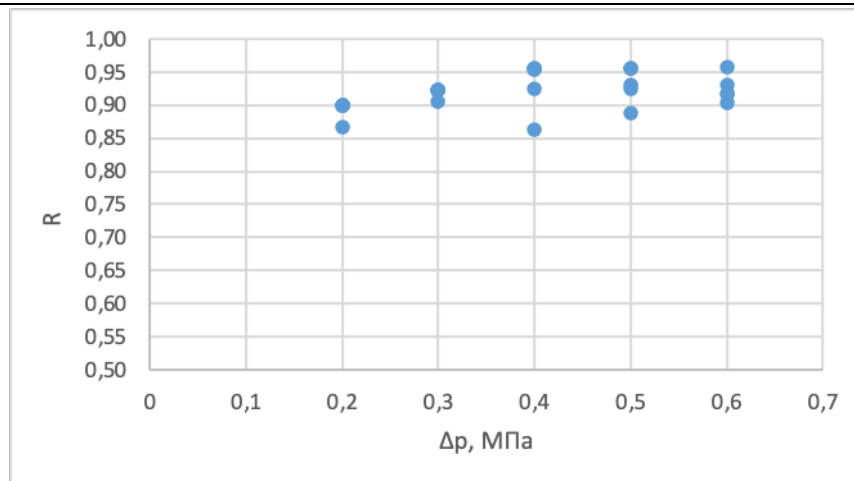


Figure 2. – The rejection rate vs applied pressure

The results of the experiments show that the selectivity of separation is on the level of 90-95% with satisfactory productivity. Therefore, the proposed solution is an attractive alternative way for existing processes. The proposed technique has a high potential for improving of the technology of barium chloride obtaining by calcium chloride methods.

#### Перелік посилань:

1. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрение, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот), ч.1, изд. 4-е, испр. Л.: Химия, 1974. 992 с.
2. Barium Chloride from China Investigation No. 731-TA-149 (Third Review)
3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. "Краткий химический справочник" Л.: Химия, 1977 стр. 392
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*. Vol. 34, pp. 1845-1858, doi: <https://doi.org/10.1081/SS-100100742>

**УДК 621.31**

**ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ТЕПЛООБМІННИКІВ НА ОСНОВІ ТОНКОСТІННИХ ГОФРОВАНИХ  
ТРУБ**

д.т.н., пров.наук.співр. Чалаєв Д.М., ст. наук. співр. Сильнягіна Н.Б.,  
к.т.н., ст. наук. співр. Степанова О.Є.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

Теплообмінні апарати займають важливе місце в промисловій теплоенергетиці, хімічній, нафтопереробній, харчовій промисловості, в житлово-комунальному господарстві та інших галузях. Найбільш поширені пластинчасті та кожухотрубні теплообмінники, що серійно випускаються, мають ряд недоліків.

В Інституті технічної теплофізики України створено стенд та проведено експериментальні дослідження інтенсивності теплопередачі при використанні тонкостінних гофрованих труб ( $\delta = 0,3$  мм) різних модифікацій (кільцева та гвинтова накатка). Дослідження показали, що гофровані труби ефективно турбулізують потік у пристінній зоні течії, руйнуючи цю область за допомогою відривних обурень потоку, які генеруються турбулізаторами і забезпечують високі коефіцієнти теплопередачі порівняно з гладкими трубами.

За допомогою CFD-моделі було вивчено вплив геометрії труб на інтенсивність процесу теплообміну, що дозволило провести оцінку ефективності теплопередачі в залежності в різних параметрів.

Теоретичні та експериментальні дослідження показали перспективність даного напрямку та дозволили створити ефективний кожухотрубний теплообмінник на основі тонкостінних гофрованих труб. Порівняльні теплотехнічні випробування нового теплообмінника було проведено на

тепловому пункті адміністративної будівлі ІТТФ НАН України. У пластинчастих теплообмінниках потужністю від 300 до 600 кВт, коефіцієнт теплопередачі становить 4000...4500 Вт/м<sup>2</sup>·К. У новому теплообміннику коефіцієнт теплопередачі зростає до 6000 Вт/м<sup>2</sup>·К. Собівартість виготовлення пластинчастого теплообмінника фірми Альфа Лаваль становить приблизно 2 Євро/кВт. Собівартість виготовлення кожухотрубного теплообмінника становить приблизно вдвічі менше.

Розроблений теплообмінник у процесі випробувань показав ефективну роботу у всьому діапазоні зміни теплових навантажень. Оснащення індивідуальних теплових пунктів новим теплообмінником дозволить на 20-30 % зменшити витрати на їх виготовлення. Для оснащення типових теплових пунктів теплообмінниками на основі тонкостінних гофрованих труб необхідно розробити типовий ряд конструкцій таких теплообмінних апаратів різної потужності.

Дослідження проводяться в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України «Ресурс-3» (проект Р 5.11).

**УДК 536.242; 536.4**

**СПОСІБ ТА ОБЛАДНАННЯ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМУ  
НАГРІВАННІ І ПЛАВЛЕННІ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ**

д.т.н., зав.відділу Ободович О.М., ст. наук. співр. Сильнягіна Н.Б.,

к.т.н., ст. наук. співр. Степанова О.Є.

**Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**

Процеси нагрівання і плавлення органічних речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, насамперед вуглеводнів (ввазелін, парафін, церезин, віск, нафтопродукти тощо), а також різного типу полімерних матеріалів та окремих видів харчових продуктів широко розповсюджені в хімічній, нафтопереробній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. Кожен з таких продуктів є складною сумішшю твердих, рідких та напіврідких вуглеводнів із різною молекулярною масою і тому не має визначеної температури переходу з одного агрегатного стану в інший. Усі ці речовини є не ньютонівськими рідинами і характеризуються залежністю в'язкості від температури. Вплив температури на реологічні показники та на агрегатний стан таких продуктів відіграє важливу роль при їх транспортуванні та експлуатації, що робить промислові процеси нагрівання та плавлення занадто трудомісткими та енерговитратними. Відомо, що кінетика процесу нагріву та плавлення залежить не тільки від властивостей речовини, а й від застосовуваного методу плавлення. Структурні і морфологічні зміни речовин, які відбуваються при цих процесах, мають велике значення, тому що визначають якість одержуваного продукту. Все це обумовлює різні вимоги до процесу плавлення кожної речовини, а отже, до режиму його проведення і вимагає розробки відповідного обладнання.

Створено експериментальний стенд та розроблено методику проведення досліджень, що дозволило отримати кінетичні закономірності перебігу процесів нагрівання та плавлення. На основі експериментальних та теоретичних випробувань досліджено вплив режимних параметрів (температура нагрівача, тиск на поверхню речовини, початкова температура вуглеводневої суміші) на швидкість перебігу процесів нагрівання і плавлення для визначення оптимальних параметрів.

Аналіз літературних джерел показав, що традиційні способи розплавлення вуглеводневих сумішей за допомогою реакторів, ванн, електротканних нагрівачів, камер нагріву та ін. часто є енергозатратними, трудомісткими та контамінаційно небезпечними. Наприклад, при використанні ванни з обігрівом оболонки неможливо домогтися рівномірного прогріву всієї маси речовини, а отже, і якісної теплової обробки.

В Інституті технічної теплофізики розроблений спосіб термоконтактного плавлення за рахунок контактного та конвективного переносу тепла, що дозволяє інтенсифікувати процес і зменшити енерговитрати. Спосіб плавлення твердої вуглеводневої суміші полягає у підведенні теплоти безпосередньо до фронту фазового перетворення за допомогою дискового нагрівача, який контактує із зовнішньою границею нерозплавленої речовини, що поступово переміщується в ній під дією сили тяжіння та перетікання розплавленої суміші через зазори між боковими поверхнями нагрівача та стінкою ємності. При цьому температура дискового нагрівача в зоні контакту з речовиною підтримується нижче температури її деструкції. В товщі розплаву підтримання температури плавлення відбувається за рахунок конвективної теплопередачі від верхньої поверхні нагрівача.

На основі проведених досліджень розроблена та виготовлена установка для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей.

Розроблений спосіб та установка для термоконтального нагрівання та плавлення дозволяє швидко та якісно розплавити необхідну кількість речовини для транспортування на наступні стадії виробництва.

**UDK 66.02.011**

**MODELING OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS  
IN POLYMER EXTRUSION**

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

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

**ABSTRACT.** Plastics are used in almost all industries and and household, that is why, as at 2020, the world volume of production of plastic products made up 367 million tons [1]. In order to implement the strategy of sustainable development and to use energy and material resources as effectively as possible, there is a need to create universal and flexible schemes of plastic processing. In modern technological schemes it is increasingly used disk extruder with dosed power for polymer melting and homogeneous melting, and for creating pressure and dosing gear pump. High-quality homogenization of melt and uniformity of its feeding are important factors for obtaining a quality product. That is why the study and further development of mathematical models of hydrodynamic and thermal processes taking place in the disk extrusion is an actual task.

**KEY WORDS:** DISK EXTRUDER, MELTING ZONE, HOMOGENIZATION OF HOT MELT

**АНОТАЦІЯ.** Пластмаси використовуються майже у всіх галузях промисловості та побуту, саме тому, станом на 2020 рік світовий обсяг виробництва пластмасових виробів склав 367 мільйонів тон [1]. Заради здійснення стратегії сталого розвитку та якомога більш ефективного використання енергетичних та матеріальних ресурсів і виникає потреба у створенні універсальних та гнучких схем переробки пластмас. У сучасних технологічних схемах все частіше для плавлення полімеру та гомогенізації розплаву використовується дисковий екструдер з дозованим живленням, а для створення тиску та дозування шестеренний насос. Якісна гомогенізація



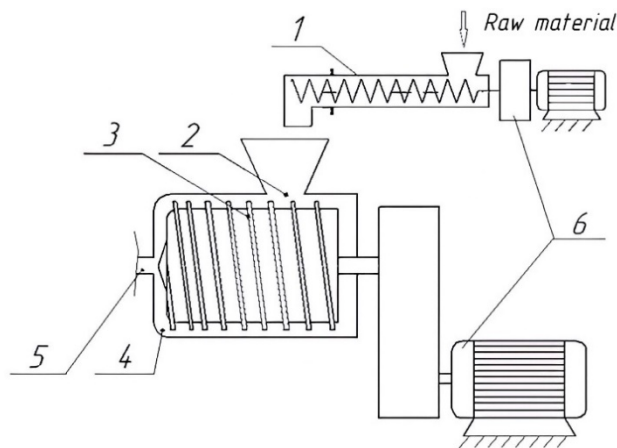
розплаву та рівномірність його подачі є важливими факторами для отримання якісного продукту. Саме тому, вивчення та подальше створення математичних моделей гідродинамічних та теплових процесів, що відбуваються у дисковому екструдері є актуальним завданням.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДИСКОВИЙ ЕКСТРУДЕР, ЗОНА ПЛАВЛЕННЯ, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ РОЗПЛАВУ.

The quality of products in the extrusion of polymers to a large extent depends on fluctuations of the melt temperature at the exit of the extrusion. If the temperature fluctuations are too large, the product quality is significantly deteriorated. For example, there appears irregularities in mechanical and physical and chemical properties, optical properties are deteriorated and dimensional tolerances are exceeded. The permissible temperature fluctuation limits depend on the properties of the polymer and the requirements to the product. It is known that defects of the final product are found at temperature fluctuations greater than 1 °C. In the real conditions, the amplitude of temperature fluctuations in the process of extrusion can reach more than 10 °C.

The reduction of temperature fluctuations amplitude and its adjustment is possible when used as a disc extractor homogenizer with dose-regulated supply.

The peculiarity of such an extruder, figure 1, is the presence of loading - plastic zone (LPZ), which is intended for capturing polymer, which is fed by screw meter, partial or full melting and feeding it in working clearance. It should be noted that the melt in the exit from the LPZ has a significant temperature inhomogeneity. Homogenization and temperature equalization occurs in the working clearance.



1 – dosing auger; 2 – loading throat; 3 – loading - plastic zone with n-slot worm; 4 – working clearance; 5 – discharge opening; 6 – drive system

Figure 1 – Disk extruder scheme

In the narrow clearance between the moving and the real-estate organs of the disc mixer there are significant normal stress, which act in the plates, which are parallel  $\epsilon\pi$  disks. This causes secondary currents in the material from the periphery of the discs to their centers. If a hole is located in the center of the disc, the material will be pressed out of it, and the pressure that occurs at the exit of the extrusion depends on the pressure created in the LPZ and on the normal voltage that occurs in the deformed material.

It is accepted that the disk melt - homogenizer consists of three zones: feed section, melting zone, homogenization zone (working zone).

When investigating the operation of disk-based extrusion units, it is necessary to first analyze each zone separately. For example, the feed section should ensure that the material is captured and transported with a certain productivity in the melting zone, and the melting zone - qualitative melting of the material and the flow of melt into the working zone, where under the influence of large bending is its intensive mixing. The effect of the normal stress that takes place in this zone, causes the center flow of the material and its output through the forming head. Such functional separation of the disk decoder on the zone is formal.

Analysis, mathematical modeling and development of algorithm of calculation of the process of disk extrusion were considered in detail in the work [2].

According to previous experimental studies, the dependence of the amplitude of the temperature inhomogeneity on the general shearing deformations was determined, figure 2, from which it is evident that with the increase of the general shearing deformations of the amplitude of temperature fluctuations is reduced. It ought to be noted that the following disc extrusion can be adjusted at the same speed as the disc rotation speed and the operating clearance.

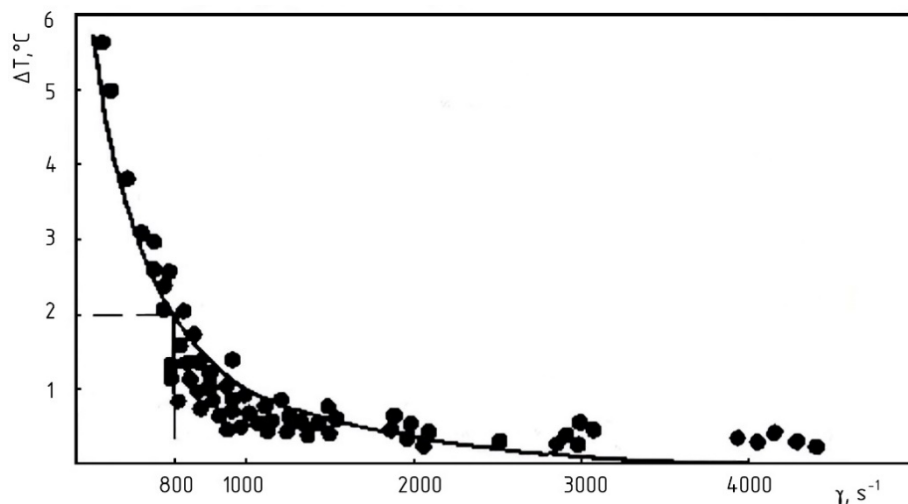


Figure 2 – Dependence of amplitude of temperature fluctuations on general shearing deformations

References:

1. Plastics - the Facts 2021 Plastics Europe. URL: [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021\\_250122.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf).
2. Мікульонюк І. О., Радченко Л. Б. Моделювання дискових екструдерів для перероблення полімерних матеріалів: монографія. К.: НТУУ «КПІ», 2015. 103 с.

УДК 621.21

**EVALUATION OF QUALITY OF HYDRODYNAMICS IN GAS  
DISTRIBUTION DEVICES FOR NON-UNIFORM FLUIDIZATION**

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

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

**ABSTRACT:** The conditions of introduction of the liquefying agent through the slits of the gas-distributing device are substantiated, at which the absence of immobile zones of granular material on the working surface of the gas-distributing device is ensured and the qualitative hydrodynamic regime of inhomogeneous jet-pulsation fluidization is realized. The influence of the coefficient of living cross-section of the slit-type gas-distributing device on the hydrodynamic activity at which inhomogeneous jet-pulsation fluidization in the self-oscillating mode is provided is investigated.

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

**ОЦІНКА ЯКОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ В ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ  
ПРИСТРОЯХ ДЛЯ НЕОДНОРІДНОГО ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ**

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

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

**АНОТАЦІЯ:** Обґрунтовано умови введення зріджувального агенту через щілини ГРП, при яких забезпечується відсутність малорухомих зон

зернистого матеріалу на робочій поверхні ГРП та реалізується якісний гідродинамічний режим неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження. Досліджено вплив коефіцієнта живого перерізу газорозподільного пристрою щілинного типу на гідродинамічну активність, при якій забезпечується неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження в автоколивальному режимі.

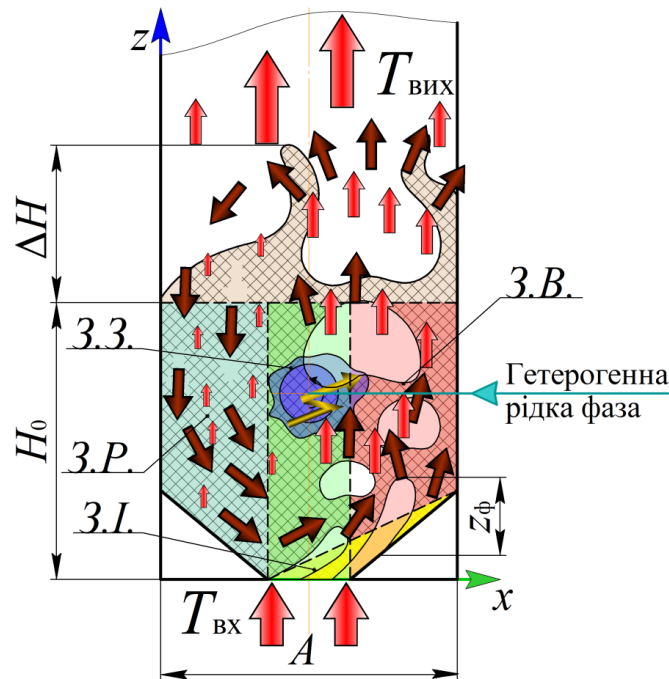
**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР, ГІДРОДИНАМІКА, НЕОДНОРІДНЕ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ГРАНУЛЯЦІЯ.

Intensification of transfer processes during dehydration and granulation processes of liquid multicomponent systems containing components of mineral and organic origin using the fluidization technique of the layer significantly depends on the method of interaction of gas coolant and granular material. This is especially true when obtaining granular humic organic-mineral fertilizers in a fluidized bed [1-10]. In these works, as well as in [11-20] it was found that the intensification of heat and mass transfer processes in the granulation of liquid heterogeneous systems can be achieved by implementing a jet-pulsation fluidization mode to self-oscillating mode [11-20], without mechanical pulsators.

To implement the mechanism of granulation of humic organic-mineral composites with a layered structure, it is necessary to ensure intensive circulation of granular material with gradual passage through the relevant technological zones of the device: zone of intensive heat exchange (3.I.), upstream zone (3.B.), irrigation zone (3.3.), and the zone of downward movement – relaxation (3.P.), Figure 1 [11-20].

In the zone of intensive heat exchange (3.I.), located directly near the working surfaces of GDD, Figure 1, the pulse is transferred from the liquefying agent with  $T_{in}$  temperature to solid particles, as a result of which they move at speeds exceeding the speed of pneumatic transport and intense evaporation

moisture. After that, the particles from the zone of intensive heat and mass transfer (3.I.) fall into the zone of upward flow (3.B.) and are transferred to the irrigation zone (3.3.), where the distribution of the liquid phase on the surface of solid particles, which due to the adhesive-sorption forces is retained on their surface in the form of a thin film.



*Z.H.* – zone of intensive heat exchange; *U.Z.* – upward zone;  
*I.Z.* – irrigation area; *3.P.* – zone of downward flow (relaxation)

Figure 1 – Physical model of the granulation process with inhomogeneous jet-pulsation fluidization.

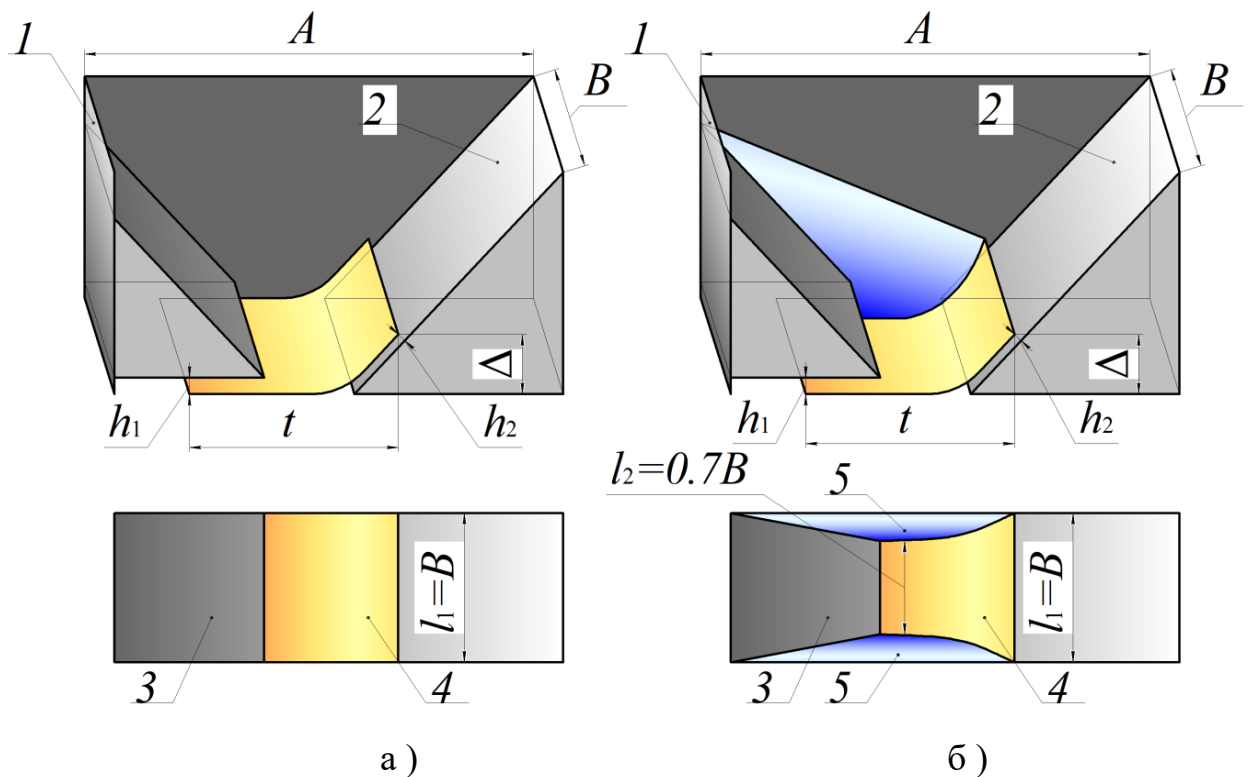
The process is accompanied by the saturation of the gaseous medium with moisture to the temperature of the wet bulb thermometer and its subsequent removal from the apparatus with the temperature of  $T_{out}$ . Solid particles, on the surface of which a micro-layer is formed due to evaporation of moisture and mass crystallization, move to the relaxation zone (3.P.) where the newly formed structure is strengthened. At the same time there is a sorption of moisture vapor by

dry granules. The remaining moisture is transferred to the gaseous coolant, which moves in the filtration mode through a layer of granular material.

From the zone (3.P.) the granular material enters the zone (3.I.) again. The process is repeated many times, until the granules reach the specified equivalent diameter, that is the device operates in self-oscillating mode.

Therefore, the efficiency of the dehydration and granulation process is determined by the driving force of the mass transfer process in the gas coolant and the renewal of the contact surface of the phases in the irrigation zone (3.3.).

The organization of such interaction of the gaseous medium with solid particles is achieved through the use of a slit-type gas-distributing device (GDD) Figure 2 [17-18].



1 – the case of the device; 2 – right grate; 3 – left grate;  
4 – horizontal surface of the working plate of GDD; 5 – narrowing inserts

Figure 2 – Structures of GDD slot type [17-18]:

a) type 1, full profile, b) type 2, with narrowing inserts.

According to the results of studies of the granulation process [17-18] it was found that on the surface of the working plate 4, Figure 2, there are areas located near the side vertical walls of GDD 5, Figure 2, in which the gas velocity is less than 25 m / s. In these zones, the risk of formation of stagnant zones with subsequent melting of the material increases significantly, which will stop the granulation process and limit the driving force of the process by temperature.

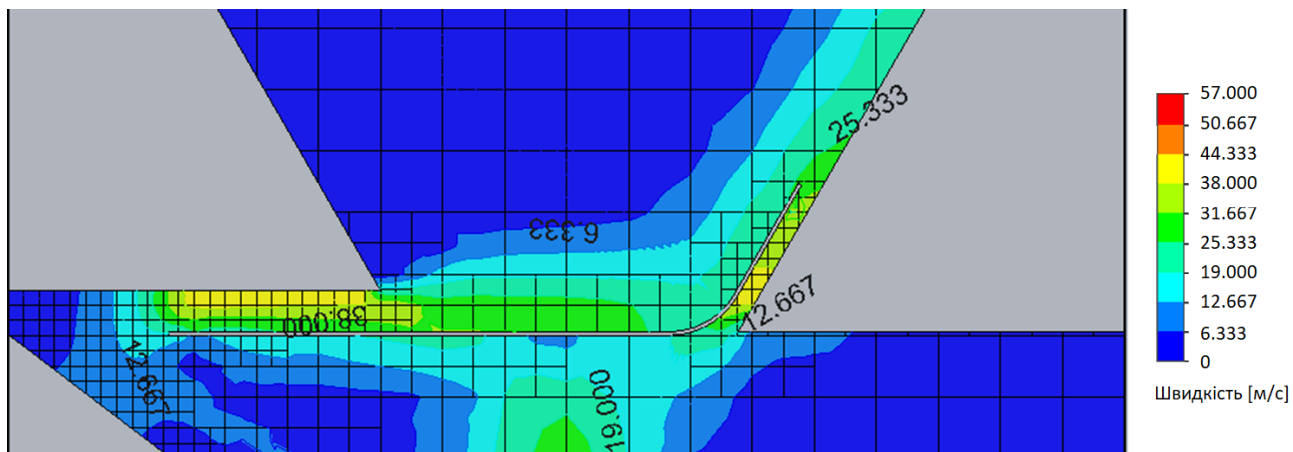
To determine the influence of the living section coefficient on the creation of zones on the surface of the working plate with a speed of at least 25 m / s, simulations were performed in *SolidWorks 2022 SP2*.

Assessment of the quality of the hydrodynamic regime on the horizontal surface of the GDD was performed on the index of hydrodynamic activity:

$$i_{ha} = F_{25} / F_{all}, \quad (1)$$

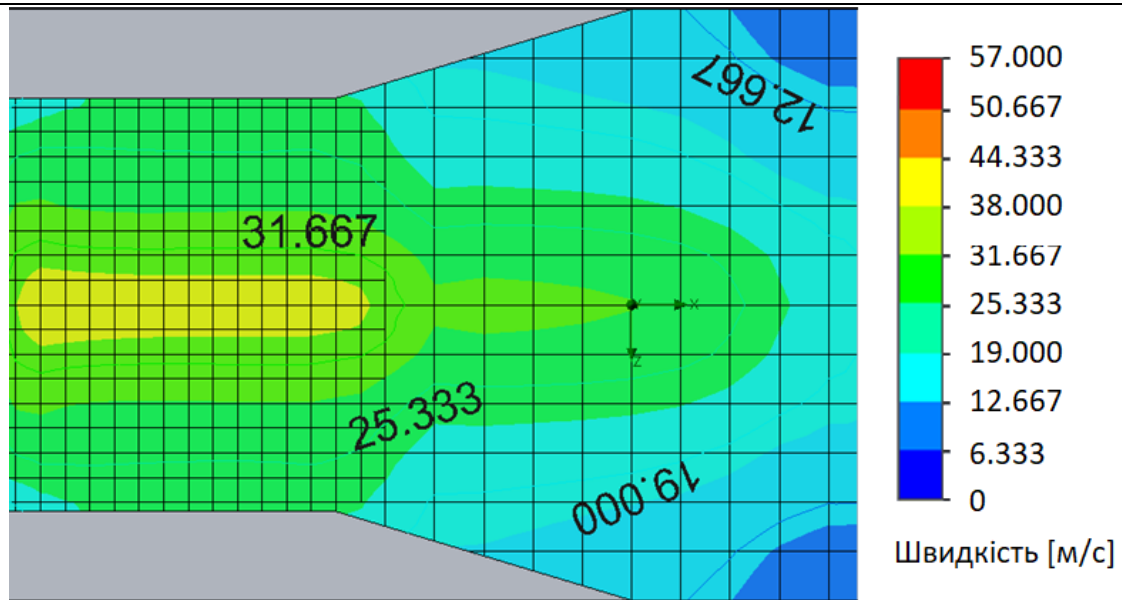
where  $F_{25}$  – area on the working horizontal plate, in which the speed is not less than 25 m/s, m<sup>2</sup>;  $F_{all}$  – total area of the horizontal working plate, m<sup>2</sup>.

The simulation results are given in the form of the velocity field of the gas liquefying agent, Figure 3.



a) vertical plane





б) horizontal plane

Figure 3 – Speed fields for GDD with narrowing inserts

(the device works under discharge of 4000 Pa and with a volume flow  $0.043 \text{ m}^3/\text{s}$ .)

The simulation study was performed according to the results [17-18], in which inhomogeneous jet-pulsation fluidization was achieved, namely: volumetric gas consumption  $V_T=0.043 \text{ m}^3/\text{s}$ , the device is under a vacuum of 4 kPa.

In the Table 1 are shown the results of virtual research in the form of an index of hydrodynamic activity  $i_{ha}$  – the ratio of the area over which the gas velocity exceeds 25 m/s to the total area of the horizontal part of the working plate of the GDD. The area was measured using a dimensional grid as shown in Figure 3 with an accuracy of 2 mm.

Table 1 – The results of determining the index of hydrodynamic activity  $i_{ha}$

Type GDD	$\varphi, \%$		
	3.0	3.5	4.0
Index of hydrodynamic activity $i_{ha}=F_{25}/F_{all}$			
Without narrowing inserts	0.92	0.87	0.67
With narrowing inserts	0.97	0.9	0.76

The dependence of the hydrodynamic activity index on the coefficient of living cross section of slits of GDD is shown in Figure 4.

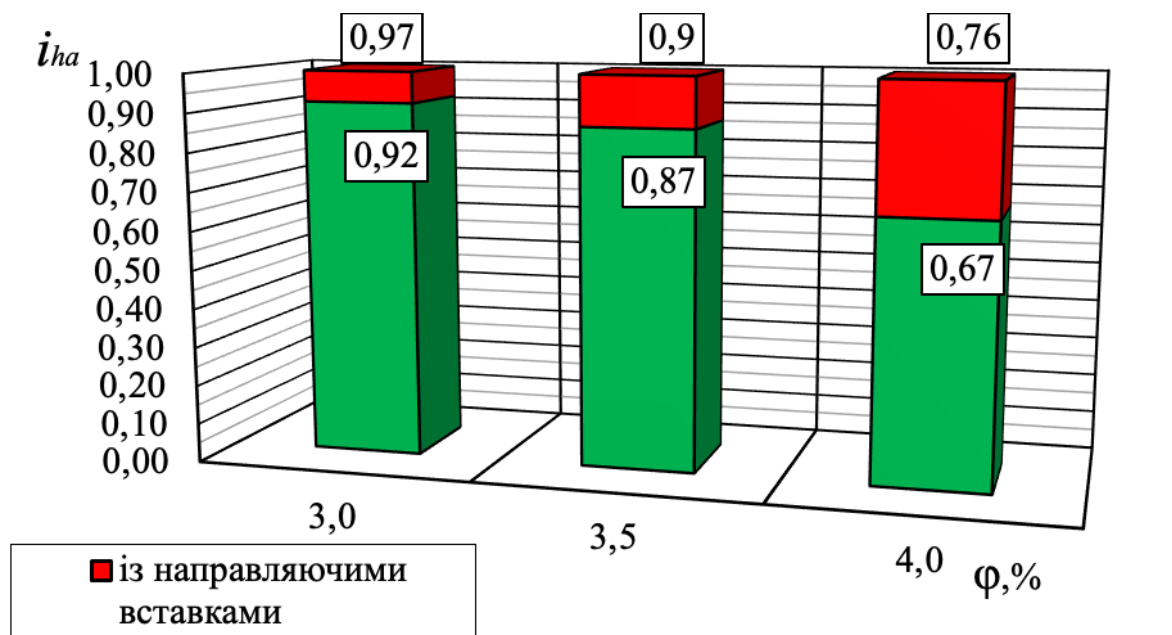


Figure 4 – Dependence of the hydrodynamic activity index on the coefficient of living cross section of GDD of two types –  $i_{ha}=f(\varphi)$

The dependence obtained by the simulation results shows that with a decrease in the parameter  $\varphi$  from 4.0 to 3.0%, the difference in the hydrodynamic activity index for the two types of GDD shown in Figure 2 almost disappears, Figure 4. These results can be used in the design of slit-type GDD for industrial equipment. In addition, reducing the live cross-sectional coefficient will increase the hydraulic resistance of the GDD. It should also be borne in mind that the modeling of hydrodynamics was performed without taking into account the presence of solid granular material in the granulator chamber and, accordingly, near the surface of the working plate of the GDD. The final verification of these results will be performed at the test facility.

**REFERENCES:**

1. Mathematical modelling of continuous formation of multilayer humic-mineral solid components / Yaroslav Kornienko, Vasyl Raida, Roman Sachok, Oleksiy Tsepkało // CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. – Vol. 3, No. 4, 2009. – pp. 335-338.
2. Complex assessment of the efficiency of granulation process in dispersed systems / Yaroslav Kornienko, Vasyl Raida, Roman Sachok // CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. – Vol. 2, No. 3, 2008. – pp. 217-220
3. Технічні способи грануляції. Навч. Посібник / Я. М. Корнієнко // К.: ІЗММ. – 1997. – С. 128.
4. Дослідження процесів утворення комплексних кристалічно-амфорних структур з промислових відходів для захисту та екобезпечного розвитку довкілля / Я. М. Корнієнко // НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 221. – <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1609>
5. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2014. – 349 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11943>)
6. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С.
7. Корнієнко Я. М. Процес зневоднення композитних рідких систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора / Я. М. Корнієнко, Д. С. Семененко, О. В. Мартинюк, С. С. Гайдай // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. – 167 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11944>)

8. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21268>)

9. Корнієнко Я. М. Кінетика процесу створення органо-мінерально-гумінових добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк, О. В. Куріньовський, А. М. Любека // Наукові праці ОНАХТ. Технічні науки. – 2015. – Вип. 47. – том 1. – С. 167-170.

10. Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Kornienko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – PP. 144-154.

11. Корнієнко Я. М. Моделювання неоднорідного псевдозрідження в автоколивальному режимі / Я. М. Корнієнко, Р. В. Сачок, С. С. Гайдай // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». – 2019. – №4 (66). – том 1. – С. 63-67.

12. Корнієнко Я. М. Гідродинаміка неоднорідного псевдозрідження / Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Денисенко В. Р., Шевченко Я. М. // Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2019. – №1. – С. 13-17.

13. Корнієнко Я. М. Гідродинаміка струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження з направленою циркуляцією / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, А. М. Любека, С. О. Турко // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – №5. – Том 2. – С. 101-106.

14. Kornienko Y. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Y. Kornienko, S. Haidai // Ukrainian Food Journal. – 2017. – Vol. 6. – Issue 3. – PP. 562-576.

15. 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.

16. 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.

17. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 24 С.

18. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 253 С. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25455>).

19. Korniyenko B., Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A., Huliienko 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).

20. 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 66.081.63

**Перспективи розвитку математичного моделювання баромембранних процесів: аналіз публікацій в провідних тематичних журналах**

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

**Національний технічний університет України**

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

**АНОТАЦІЯ:** В даних тезах розглянуто прогрес у розвитку математичного моделювання баромембранних процесів. За допомогою декількох журналів у яких були опубліковані статті, вище вказаного напрямлення, проглядається стрімке зростання інтересу, яке проаналізоване за допомогою графіків.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, БАРОМЕМБРАННІ ПРОЦЕСИ, ЗВОРОТНІЙ ОСМОС.

Для концентрування чи очищення розбавлених водних розчинів широко використовуються мембранні процеси, що протікають під дією перепаду тиску або баромембранні процеси.

Найчастіше за останні роки у багатьох галузях промисловості та побуті застосовують баромембранні процеси, серед яких – мікрофільтрація (розділення суспензій, емульсій і колоїдних розчинів), ультрафільтрація (очищення водних розчинів від високомолекулярних речовин, їхнє фракціонування), нанофільтрація (розділення водних розчинів, що містять електроліти й низькомолекулярні речовини органічного походження), зворотній осмос (знесолення вод та очищення їх від органічних речовин і колоїдів).

В основі баромембранних процесів лежить явище осмосу – самовільного проникнення розчинника через мембрану до встановлення рівноваги.

Варто наголосити, що математичне моделювання відіграє істотну роль у проектуванні та дослідженні цих процесів. Це дозволяє зменшити кількість експериментів, а отже – фінансові витрати та енергоспоживання. Тому дане моделювання є дуже важливим.

У даній роботі було розглянуто велику кількість статей, присвячених моделюванню баромембранних процесів, опублікованих між 2011 р. і 2020 р.

На діаграмах по роках та по процесам, проведено аналіз по різних публікаціях в провідних тематичних журналах, таких як: «Jornal of membrane science» - на рисунках 1 та 2, «Desalination» - на рисунках 3 та 4, та «Separation and purification technology» - на рисунках 5 та 6, прослідковується поступова динаміка.

Інтерес до розглянутої теми зберігається майже на одному рівні з достатньо стрімкою тенденцією до зростання в більш пізні роки. А це свідчить про те, що актуальність досліджень залишається високою та інтерес до них зростає з кожним роком.

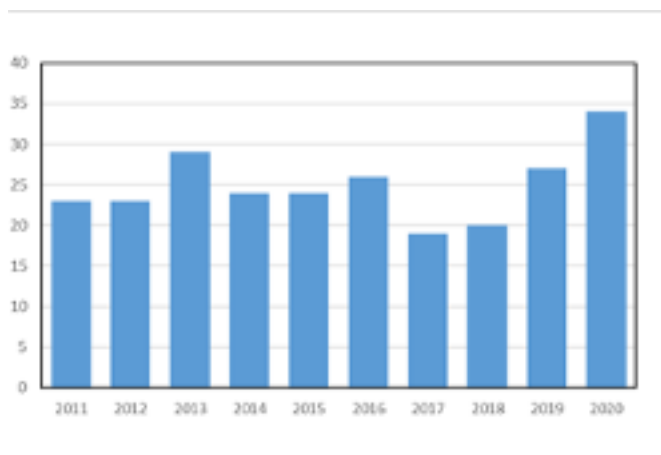


Рисунок 1 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Journal of membrane science по роках

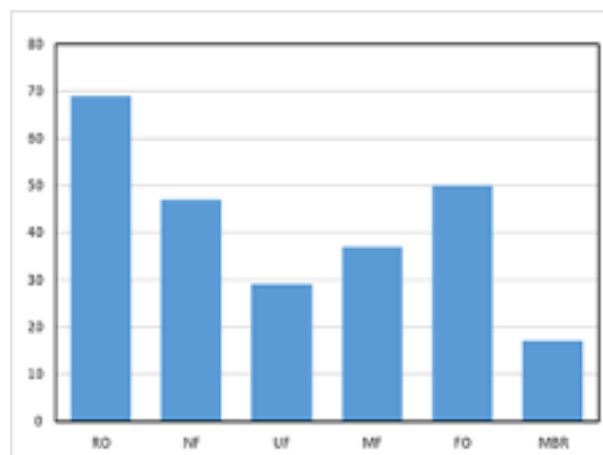


Рисунок 2 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Journal of membrane science по процесам

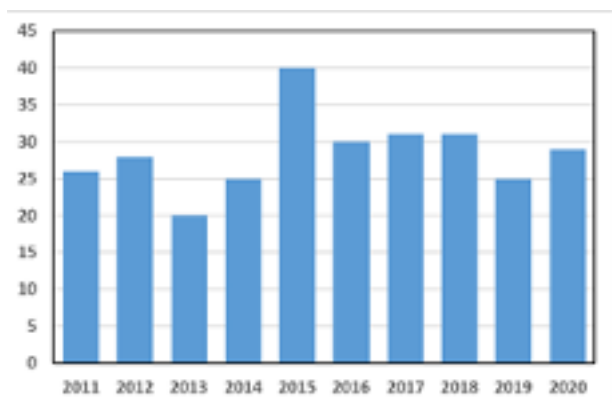


Рисунок 3 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Desalination по роках

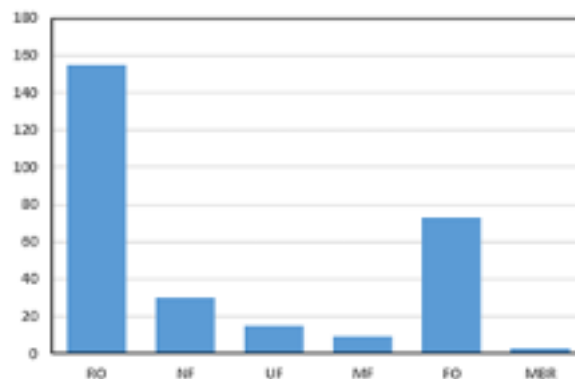


Рисунок 4 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Desalination по процесах

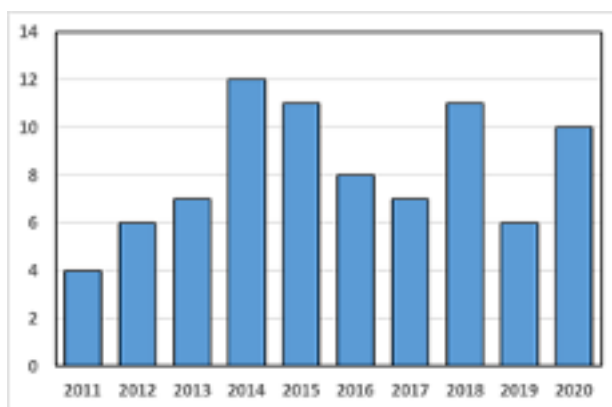


Рисунок 5 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Separation and purification technology по роках

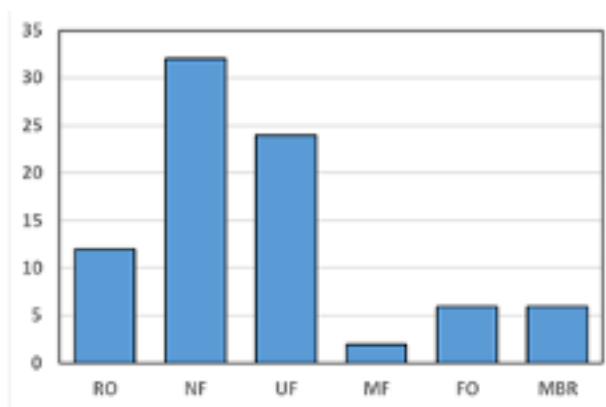


Рисунок 6 – Розподіл публікацій, присвячених моделюванню баромембранних процесів, в базі даних Separation and purification technology по процесах

**ВИСНОВКИ.** Було проаналізовано, що інтерес до математичного моделювання баромембранних процесів зростає і стає все більш перспективним та має передумови для успішного розвитку. Враховуючи все вище сказане, можна сказати, що зворотній осмос залишається основним процесом.



**Перелік посилань:**

1. Huliienko S. V. Korniienko Y. M., Gatilov K. O. (2020). Modern trends in the mathematical simulation of pressure-driven membrane processes. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 7(1), pp. F1–F21, doi: [https://doi.org/10.21272/jes.2020.7\(1\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(1).f1)
2. Journal of Membrane Science | ScienceDirect.com by Elsevier [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-membrane-science> (дата звернення 11.04.2022) – Назва з екрана.
3. Desalination | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/journal/desalination> (дата звернення 11.04.2022) – Назва з екрана.
4. Separation and Purification Technology | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/journal/separation-and-purification-technology> (дата звернення 11.04.2022) – Назва з екрана.

УДК 664.8.047

## TECNOLOGIES FOR DRYING SPICY-AROMATIC PLANTS

Malashchuk N., Dr. Sc. Snezhkin Y., Ph. D. Dabizha N.

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

***ABSTRACT.** The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of peppermint has been studied. A significant dependence of the duration of the drying process on the heat and humidity parameters of atmospheric air was revealed. To create controlled heat and moisture drying conditions, it is proposed to dehydrate spicy-aromatic plants in dryers with a closed circulation circuit using a heat-generating dehumidifying heat pump unit.*

**KEYWORDS:** DRYING, SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS, MODES, HEAT PUMP, ENERGY EFFICIENCY.

## ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН

Малащук Н.С., д. т. н. Снежкін Ю.Ф., к. т. н. Дабіжа Н.О.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

***АНОТАЦІЯ.** Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення м'яти перцевої. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від тепловологісних параметрів атмосферного повітря. Для створення контрольованих тепловологісних умов сушіння запропоновано зневоднювати пряно-ароматичні рослини в сушарках з замкненим циркуляційним контуром з застосуванням теплогенеруючого осушуючого теплонасосного агрегату.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СУШІННЯ, ПРЯНО-АРОМАТИЧНА СИРОВИНА, РЕЖИМИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

**The purpose of the work.** Research of dehydration processes of spicy-aromatic plants in order to determine energy-efficient drying regimes that ensure maximum preservation of biologically active substances and essential oils.

**Results.** Spicy-aromatic plants are used for many purposes as medicines, spices, flavors, dyes and more.

An important step in the procurement of aromatic raw materials is drying. To determine the maximum allowable drying temperature of aromatic raw materials containing essential oils, experimental data on the effect of temperature on the content of aromatic substances were analyzed. Thus, with increasing drying temperature, the content of essential oil decreases sharply, and their composition also changes. At 60 ° C, there are irreversible changes in the components of essential oils of plants. Therefore, the drying temperature of spicy-aromatic raw materials should not exceed 30-45 ° C [1].

The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of mint grass has been studied [1]. A significant dependence of the duration of the drying process on the moisture content of atmospheric air was revealed. To create controlled conditions for drying mint and increase the energy efficiency of the dehydration process, it is proposed to use the condensing method of drying using a heat pump.

**Conclusions.** Energy-efficient drying regimes for spicy-aromatic plants with a variable degree of drying agent drying have been developed, in which the material temperature does not exceed the maximum allowable for this type of raw material, and aroma loss does not exceed 20-25% of raw material. The use of a heat pump can reduce the specific energy consumption for drying by 1,5-2 times.

**References:**

1. Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Малащук Н.С. Енергоресурсозберігаючі технології зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин. *Теплофізика та Теплоенергетика, том 43 № 4 (2021), ст. 7-16.*

УДК 664.8.047

## ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН

Малащук Н.С., к. т. н. Дабіжа Н.О., д. т. н. Снежкін Ю.Ф.

Інститут технічної теплофізики НАН України

***АНОТАЦІЯ.** Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення м'яти перцевої. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від тепловологісних параметрів атмосферного повітря. Для створення контрольованих тепловологісних умов сушіння запропоновано зневоднювати пряно-ароматичні рослини в сушарках з замкненим циркуляційним контуром з застосуванням теплогенеруючого осушуючого теплонасосного агрегату.*

***КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СУШІННЯ, ПРЯНО-АРОМАТИЧНА СИРОВИНА, РЕЖИМИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.*

## TECNOLOGIES FOR DRYING SPICY-AROMATIC PLANTS

Malashchuk N., Ph. D. Dabizha N., Dr. Sc. Snezhkin Y.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

***ABSTRACT.** The effect of temperature, speed and moisture content of the drying agent on the kinetics of dehydration of peppermint has been studied. A significant dependence of the duration of the drying process on the heat and humidity parameters of atmospheric air was revealed. To create controlled heat and moisture drying conditions, it is proposed to dehydrate spicy-aromatic plants in dryers with a closed circulation circuit using a heat-generating dehumidifying heat pump unit.*

***KEYWORDS:** DRYING, SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS, MODES, HEAT PUMP, ENERGY EFFICIENCY.*

**Мета.** Дослідження процесів зневоднення пряно-ароматичних рослин з метою визначення енергоефективних режимів сушіння, які забезпечують максимальне збереження біологічно активних речовин і ефірних олій.

**Результати.** Пряно-ароматичні рослини використовуються для багатьох цілей як лікувальні засоби, приправи, ароматизатори, барвники тощо.

Важливим етапом в процесі заготівлі пряно-ароматичної сировини є сушіння. Для визначення гранично допустимої температури сушіння пряно-ароматичної сировини, що містить ефірні олії, проаналізовані експериментальні дані щодо впливу температури на вміст ароматичних речовин. Так, при підвищенні температури сушіння різко знижується вміст ефірної олії, також змінюється їхній склад. При 60 °С, відбуваються незворотні зміни в компонентах ефірних олій рослин. Тому температура сушіння пряно-ароматичної сировини не повинна перевищувати 30–45 °С [1].

Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення трави м'яти [1]. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від вологовмісту атмосферного повітря. Для створення контрольованих умов сушіння м'яти та підвищення енергоефективності процесу зневоднення запропоновано використовувати конденсаційний метод сушіння з застосуванням теплового насоса.

**Висновки.** Розроблені енергоефективні режими сушіння пряно-ароматичних рослин з перемінним ступенем осушення сушильного агента, при яких температура матеріалу не перевищує гранично допустиму для даного виду сировини, а втрати аромату не перевищують 20-25 % від вихідної сировини. Застосування теплового насоса дозволяє знизити питомі витрати енергії на сушіння в 1,5-2 рази.

**Посилання:**

1. Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О., Малащук Н.С. Енергоресурсозберігаючі технології зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин. *Теплофізика та Теплоенергетика, том 43 № 4 (2021), ст. 7-16.*

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 auto-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 an auto-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.

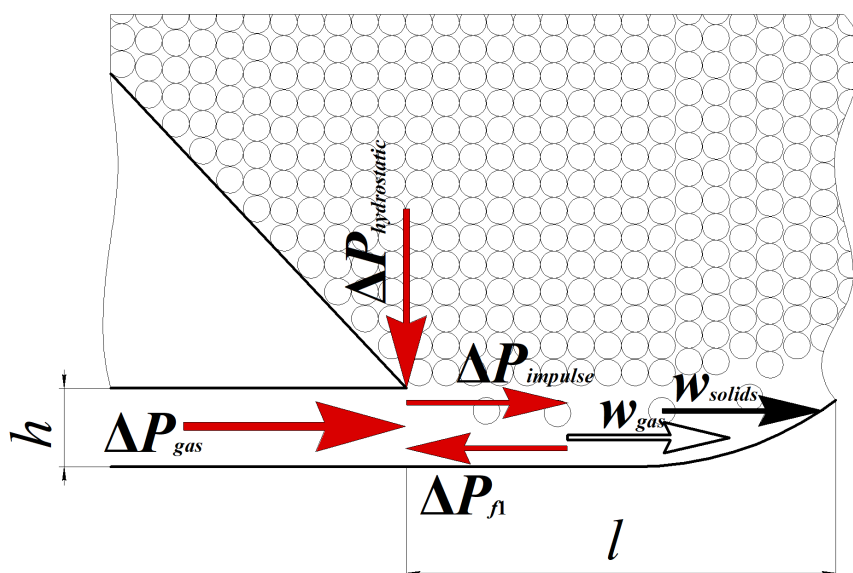
**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**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.

The use of non-uniform jet-pulsating fluidization in an auto-oscillating mode in obtaining granular humic organic-mineral fertilizers ensures intensification of diffusion-controlled processes in dehydration and granulation of liquid multicomponent systems containing components of mineral and organic origin [1-18]. In works [11-20] it was found that non-uniform jet-pulsation fluidization in an auto-oscillating mode without the use of mechanical pulsators can be provided by the use of slit type GDD. To do this, it is necessary to provide enough energy [17-19], from a flooded gas jet through the main slit of the gas distribution device (GDD) surface of the plate in the zone "D" of GDD, Figure 1.



**Figure 1** – The scheme of movement of the dispersed layer in zone “D” of GDD

To provide the required energy of the flooded jet, the gas pressure in the slit must meet the condition, Pa:



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

where  $\Delta P_{impulse}$  – aerodynamic resistance for creation of momentum of the dispersed layer, Pa;

$\Delta P_{f1}$  – hydraulic resistance of the dispersed layer along the length of the channel of zone "D", Pa;

$\Delta P_{hydrostatic}$  – hydrostatic pressure resistance of material with initial height  $H_0$ , Pa;

Aerodynamic resistance for creation of momentum of the dispersed layer, Pa:

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

where  $\rho_{solids}$ ,  $\rho_{gas}$  – density of solid particles (granules) and gas phase (fluidization agent), respectively, kg/m<sup>3</sup>;

$w_{solids}$ ,  $w_{gas}$  – velocity of solid particles (granules) and gas phase (fluidization agent), respectively, m/s;

$\epsilon_{solids}$ ,  $\epsilon_{gas}$  – volume parts of solid parts and gas phase in zone "D" GDD:

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

According to the results of research in [17-20] and  $0.8 \leq \epsilon_{gas} \leq 1.0$  accept  $\epsilon_{gas}=0.95$  та  $\epsilon_{solids}=0.05$ .

Hydrostatic pressure resistance of material with initial height  $H_0$ , Pa:

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

where  $\epsilon_0 = 0.4$  – porosity of the initial layer (the proportion of gas in the initial layer);

$K_1$  – friction component coefficient.

hydraulic resistance by the length of the channel of zone "D", Pa:

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

where  $\lambda$  – hydraulic resistance of gas movement coefficient –  $\lambda=f(Re)$ ;

$D_e$  – equivalent diameter of the channel in the zone "D", formed near the surface of the horizontal plate and length  $l$  between side walls of GDD.

Forasmuch  $h$  and  $B$  respectively the height and width of the slit equal:

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

Dynamic gas resistance in a GDD slit with dimensions  $h \times B$  calculate, Pa:

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

Equation (1) is solved by the iterative method in according with value of  $l$ . In equation (2) we assume that the velocity of solid particles  $w_{solids}$  equal  $1.1 \div 1.33$  from removal velocity  $w_{blowingout} - w_{solids} = (1.1 \div 1.33)w_{gas}$  – and match velocity of fluidization agent  $w_{gas}$ , in according with pulsating change of height and porosity in the layer of granular material

The obtained theoretical dependences must be tested experimentally for granular materials with different dispersed composition.

#### REFERENCES:

21. Mathematical modelling of continuous formation of multilayer humic-mineral solid components / Yaroslav Kornienko, Vasyl Raida, Roman Sachok, Oleksiy Tsepka // CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. – Vol. 3, No. 4, 2009. – pp. 335-338.

22. Complex assessment of the efficiency of granulation process in dispersed systems / Yaroslav Kornienko, Vasyl Raida, Roman Sachok // CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. – Vol. 2, No. 3, 2008. – pp. 217-220

23. Технічні способи грануляції. Навч. Посібник / Я. М. Корнієнко // К.: ІЗММ. – 1997. – С. 128.

24. Дослідження процесів утворення комплексних кристалічно-амфорних структур з промислових відходів для захисту та екобезпечного

---

розвитку докiлля / Я. М. Корнієнко // НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 221. – <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1609>

25. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2014. – 349 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11943>)

26. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С.

27. Корнієнко Я. М. Процес зневоднення композитних рідких систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора / Я. М. Корнієнко, Д. С. Семененко, О. В. Мартинюк, С. С. Гайдай // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. – 167 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11944>)

28. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21268>)

29. Корнієнко Я. М. Кінетика процесу створення орґано-мінерально-гумінових добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк, О. В. Куріньовський, А. М. Любека // Наукові праці ОНАХТ. Технічні науки. – 2015. – Вип. 47. – том 1. – С. 167-170.

30. Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Kornienko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – PP. 144-154.

31. Корнієнко Я. М. Моделювання неоднорідного псевдозрідження в автоколивальному режимі / Я. М. Корнієнко, Р. В. Сачок, С. С. Гайдай // Міжнародний науковий журнал «Інтернука». – 2019. – №4 (66). – том 1. – С. 63-67.

32. Корнієнко Я. М. Гідродинаміка неоднорідного псевдозрідження / Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Денисенко В. Р., Шевченко Я. М. // Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2019. – №1. – С. 13-17.

33. Корнієнко Я. М. Гідродинаміка струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження з направленою циркуляцією / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, А. М. Любека, С. О. Турко // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – №5. – Том 2. – С. 101-106.

34. Kornienko Y. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Y. Kornienko, S. Haidai // Ukrainian Food Journal. – 2017. – Vol. 6. – Issue 3. – PP. 562-576.

35. 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.

36. 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.

37. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 24 С.

38. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 253 С. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25455>).

39. Korniyenko B., Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A., Huliienko 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).

40. 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).

**INFLUENCE OF THE CHOICE OF THE CONSENSUS ALGORITHM IN  
PROJECTS BUILT ON DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY ON  
ENERGY EFFICIENCY AND THE ENVIRONMENTAL COMPONENT**

student Anton Kosenko

**National Technical University of Ukraine**

**«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**ABSTRACT.** The relevance of the publication is due to the dynamic development of the blockchain technology, which is being implemented at the private and state level and has a wide range of applications. A detailed understanding of all the components of this technology, mathematical solutions underlying it, as well as key indicators, including energy efficiency, is a necessary prerequisite for the effective application of the corresponding technology.

The subject of research is the blockchain technology, as one of the types of implementation of the distributed ledger technology, and consensus algorithms as a way to ensure user trust in data stored in distributed networks.

The purpose of the publication is to analyze the influence of the choice of the consensus algorithm on the prospects for the development and scaling of networks built on the distributed ledger technologies and to draw a conclusion about the trends prevailing in the world, in order to take this into account in further practical work.

After analyzing the impact of the blockchain on ecology and energy consumption indicators, researching the architecture of the distributed ledger technology model and the main varieties of consensus algorithms, a comparison of the most common consensus algorithms was made and conclusions were drawn about the trends and prospects for the development of the technology.

**KEYWORDS:** BLOCKCHAIN, DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY, CONSENSUS ALGORITHM, PROOF-OF-WORK, PROOF-OF-STAKE.

**ВПЛИВ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ КОНСЕНСУСУ В ПРОЕКТАХ ПОБУДОВАНИХ НА ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕЄСТРУ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНУ СКЛАДОВУ**

студент **А. П. Косенко**

**Національний технічний університет України**

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

**АНОТАЦІЯ** Актуальність публікації обумовлена динамічним розвитком технології блокчейн, яка впроваджується на приватному та державному рівні та має широкий спектр застосування. Детальне розуміння всіх складових даної технології, математичних рішень, що лежать в її основі, а також ключових показників, включаючи енергоефективність є необхідною передумовою для ефективного прикладного застосування відповідної технології.

Предмет досліджень – технологія блокчейн, як один з видів реалізації технології розподіленого реєстру та алгоритми консенсусу як спосіб забезпечення довіри користувачів до даних, які зберігаються в розподілених мережах.

Метою публікації є проаналізувати вплив вибору алгоритму консенсусу на перспективи розвитку та масштабування мереж побудованих на технології розподіленого реєстру та дійти висновку про тенденції, які панують у світі, для того щоб врахувати це у подальшій практичній роботі.

Після аналізу впливу блокчейну на екологію та показників енергоспоживання, дослідження архітектури моделі технології розподіленого

реєстру та основних різновидів алгоритмів консенсусу, було зроблено порівняння найбільш поширених алгоритмів консенсусу та зроблено висновки про тенденції та перспективи розвитку технології.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БЛОКЧЕЙН, ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕЄСТРУ, АЛГОРИТМ КОСЕНСУСУ, PROOF-OF-WORK, PROOF-OF-STAKE.

Актуальність теми публікації обумовлена широкою популярністю та динамічним розвитком технології блокчейн та проектів побудованих на технології розподіленого реєстру.

Широка популярність технології блокчейн та динамічний розвиток технології розподіленого реєстру, яка починає чинити суттєвий вплив на світову економічну систему, а також енергетичний сектор, обумовлюють необхідність більш детального вивчення всіх складових технології, включаючи елементи, які впливають не її енергоефективність.

З моменту публікації 31 жовтня 2008 року на сайті [www.bitcoin.org](http://www.bitcoin.org) Bitcoin whitepaper [1], проекти побудовані на технології розподіленого реєстру проникли в такі сфери як фінанси, логістика, медицина, розваги, Інтернет речей.

Глобальний інтерес розробників та крипто-ентузіастів, заснований на ідеях децентралізації та самокерованості комп'ютерних мереж, підкріплений історіями неймовірного збагачення простих людей на хвилі т.зв. «бичого» ринкового тренду криптовалют, перетворили експериментальний технологічний рух у багатомільярдну екосистему, яка на своєму піку в 2021 році за даними ресурсу Coingesco оцінювалася в понад 2 трлн доларів [2]. При цьому, рівень споживання електроенергії для підтримання найбільш популярної криптовалюти за підсумком 2020 року за даними досліджень Кембриджського Університету склав близько 121,36 терават-годин (TWh)



електроенергії на рік [3], що більше ніж споживають такі країни як Нідерланди, Об'єднані Арабські Емірати та Аргентина [4].

Секрет успіху блокчейн проектів прихований у вдалій комбінації основних складових елементів: структури даних блокчейн, механізму хеш функції, хеш-дерева Меркла та алгоритмів консенсусу.

Важливим для розуміння технології є усвідомлення її природи. І якщо ми говоримо про блокчейн як тип технології розподіленого реєстру то варто відзначити, що ми маємо справу з мережею. І ця мережа, незважаючи на ту обставину, що використовує мережеву модель OSI, має свої елементи, які, на нашу думку, для кращого розуміння доцільно розглядати саме за аналогією з OSI моделлю.

Графічно модель стеку технології розподіленого реєстру на блокчейн можна представити так як це зображено на рисунку 1.

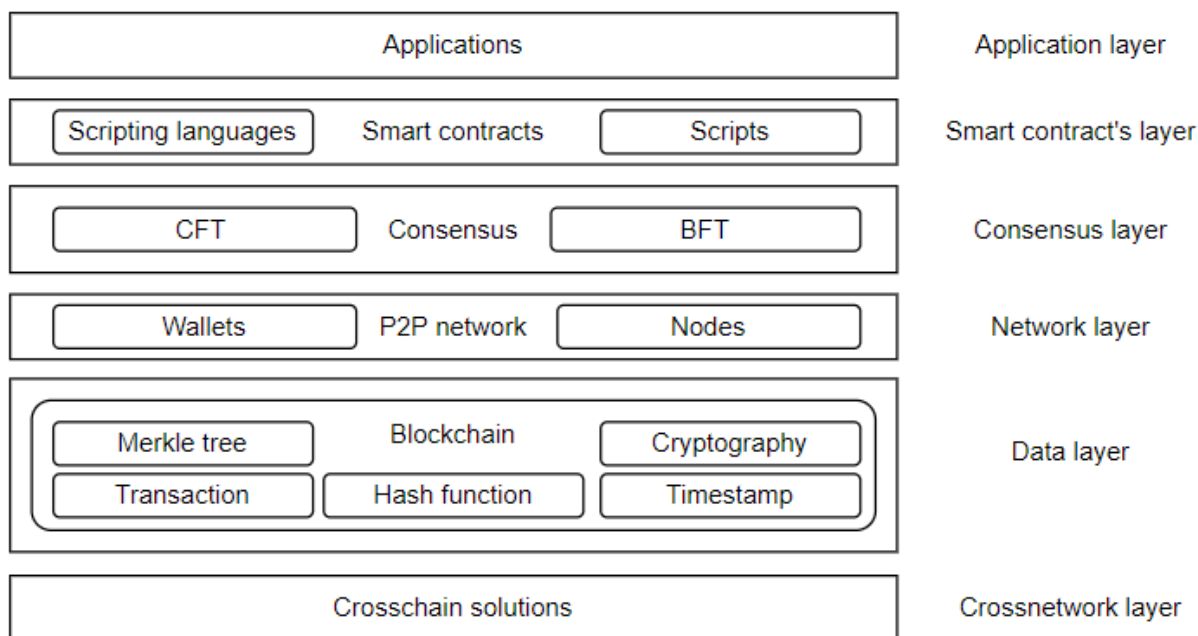


Рисунок 1 – Мережева модель стеку технології розподіленого реєстру

З часу запуску першого блокчейн проекту у 2008 році, на ринку з'явилися проекти, які можна розділити на різні типи.

За способом організації можна виділити:

- Публічні реєстри;

- Приватні реєстри.

За доступністю мережі для користувачів:

- Реєстри, що потребують дозволу для участі;

- Реєстри, що не потребують такого дозволу [5].

Виходячи зі структури даних на ті, що побудовані на базі:

- Блокчейну;

- Хешграфу;

- Спрямованого ациклічного графу;

- Голочейну;

- Темпо.

Проте, характеристикою, яка відіграє визначальну роль в контексті енергоефективності проектів та їх впливу на екологію, стали алгоритми консенсусу, які покликані гарантувати стабільність роботи децентралізованих мереж рівних учасників та забезпечувати стійкість до різного роду недобросовісних втручань.

Найбільшою популярністю серед проектів, побудованих на технології розподіленого реєстру користуються два алгоритми консенсусу Proof-of-Work та Proof-of-Stake з різними різновидами останнього.

Найбільш відомим алгоритмом консенсусу, який набув популярності завдяки застосуванню у першій та найбільш популярній криптовалюті Bitcoin, та який заклав «екологічну бомбу» в усю екосистему є алгоритм Proof-of-Work.

Концепція алгоритму Proof-of-Work була винайдена Моні Наор та Синтією Дворк в 1993 році як спосіб стримування DoS-атак та інших зловживань, таких як спам у мережі, вимагаючи виконання певної роботи від запитувача служби, що зазвичай означало витрату певного часу на обробку інформації комп'ютером [6].

Головним недоліком цього алгоритму є те, що складність обчислень та витрати енергії зростають пропорційно з ростом мережі та кількості транзакцій. Дана обставина з одного боку закладає витратну складову в формування ціни активу, проте, з іншого ставить питання про виправданість таких витрат.

У алгоритму Proof-of-Stake екологічна складова є міцнішою, через те, що він побудований на механізмі консенсусу, побудованому на об'єднанні активів учасників в мережі, а не обчислювальної потужності пристроїв, якими вони володіють.

Мережі, побудовані на цьому алгоритмі володіють більшою пропускнуою здатністю в порівнянні з мережами, побудованими на алгоритмі Proof-of-Work, не чинять негативного впливу на навколишнє природне середовище, не мають залежності від спільноти осіб, що володіють обчислювальними потужностями.

Загалом, високий градус критики криптопроектів з боку екологів, та найбільш гучна подія 2022 року у світі криптовалют – перехід мережі Ethereum з алгоритму Proof-of-Work на Proof-of-Stake, що відбувся 15 вересня та суть якого детально викладена на сторінці проекту [7], дають підстави говорити про те, що обрання більш енергоощадних алгоритмів консенсусу може стати трендом, що чинитиме суттєвий вплив на розвиток проектів на базі блокчейну та технології розподіленого реєстру.

#### Перелік посилань

1. Satoshi Nakamoto Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System Proof of work [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.coingecko.com/>
3. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ccaf.io/cbeci/index>

4. Cristina Criddle Bitcoin consumes "more electricity than Argentina"  
[Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.bbc.com/news/technology-56012952>

5. Distributed Ledger Technologies in Public Services. Report detailing Distributed Ledger Technologies in Public Services, 26 September, 2018 ISBN: 9781787811232, [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<https://www.gov.scot/publications/distributed-ledger-technologies-public-services/pages/5/>

6. Proof of work [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Proof\\_of\\_work#:~:text=The%20concept%20was%20invented%20by,processing%20time%20by%20a%20computer.](https://en.wikipedia.org/wiki/Proof_of_work#:~:text=The%20concept%20was%20invented%20by,processing%20time%20by%20a%20computer.)

7. PROOF-OF-STAKE (POS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/>

**СЕКЦІЯ 2**

**«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»**

УДК 630

**MODERN FORESTRY - PROBLEMS OF SUSTAINABLE  
COOPERATION WITH ENERGY AND OTHER BRANCHES  
OF SOCIAL ECONOMY**

Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Kremnev V., Stetsuk V.

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

***ABSTRACT.** The paper is devoted to the interaction with the heat industry and other sectors of the economy in accordance with the model of sustainable development and synergy.*

**KEYWORDS:** FORESTRY, ENERGY, BIOFERTILIZERS.

**СУЧАСНЕ ЛІСІВНИЦТВО – ПРОБЛЕМИ СТАЛОГО  
СПІВРОБІТНИЦТВА З ЕНЕРГЕТИКОЮ ТА ІНШИМИ  
ГАЛУЗЯМИ СУСПІЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

Беляєв Г.В., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Кремньов В.О., Стецюк В.Г.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

***АНОТАЦІЯ.** Робота присвячена взаємодії з теплоенергетикою та іншими галузями суспільного господарства відповідно моделі сталого розвитку та синергійного ефекту.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЛІСІВНИЦТВО, ЕНЕРГЕТИКА, БІОДОБРИВА.

**The purpose of the work.** Determining the interests of a number of sectors of the public economy in relation to the use of by-products and waste from forestry activities.

**Results.** Problems to be solved by the proposals:

1. Concerning the interests of forestry development - reduction or complete overcoming of chronic underfunding, from which this important industry has been

suffering for many years.

2. Regarding the interests of other sectors of the economy:

- energy is extremely interested in the supply of cheap wood fuel on a regular basis, the use of which is quite tolerant of the local environment and will help reduce the negative impact on the global environment;

- 0000 rural residents, dacha owners and gardeners are extremely interested in reducing heating costs, even if their farms are gasified;

- objects of the budget sphere in rural areas (schools, hospitals, hotels, boarding schools, nursing homes etc.) need to reduce heating costs; the same applies to similar facilities located on the outskirts of urban areas, which allows them to deliver wood fuel.

A necessary precondition for the implementation of the method of providing wood fuel to municipal and industrial heat facilities in the nearest settlements to forestry enterprises is the formation of a partnership between forestry enterprises and heat consumers - responsible heat supply facilities: municipal heat and power plants or industrial enterprises. The basis of such a partnership is legally binding contracts, the term of which is not less than the service life of the installed heat generating equipment.

**Conclusions.** A system set of measures aimed at synergistic sustainable cooperation of forestry enterprises with energy, social sphere, production of biofertilizers, etc. is proposed, based on the interaction of scientific institutions with local governments. This takes into account the significant increase in the demand of gasified individual households for fuel wood due to the constant trend of increasing the price of natural gas.

**References:**

1. Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Стецюк В.Г., Жуков К.Л. Пропозиції щодо створення сталої системи територіального енергетичного використання місцевих відновлюваних ресурсоцінних відходів / Промышленная теплотехника, –2017.–Т. 39, № 7. С. 89-90.

УДК 630

**COORDINATION OF SIMULTANEOUS ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES IN FORESTRY AND HEAT GENERATING FACILITIES IN ORGANIZING THEIR SUSTAINABLE INTERACTION**

Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Kremnev V., Stetsuk V.

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

*ABSTRACT.* The paper is devoted to the organization of sustainable interaction between state forestry enterprises and heat-generating facilities close to them.

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

**КООРДИНАЦІЯ ОДНОЧАСНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ У ЛІСГОСПАХ ТА ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ОБ'ЄКТАХ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЇХ СТАЛОЇ ВЗАЄМОДІЇ**

Беляєв Г.В., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Кремньов В.О., Стецюк В.Г.

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

*АНОТАЦІЯ.* Робота присвячена організації сталої взаємодії між державними лісорослинницькими підприємствами та територіально наближеними до них теплогенеруючими об'єктами.

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

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

**Results.** The report belongs to one of the traditional activities of the laboratory of heat and mass transfer processes and equipment - a drastic reduction



in unit costs for fuel and energy component in heating and production processes through systematic intensification of thermal technologies and extensive involvement of secondary energy and material resources.

The work is based on the following conceptual provisions.

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

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

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

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

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

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

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

#### **References.**

1. Дослідження тепломасообмінних процесів і розробка нових енергоефективних методів та технологічного обладнання виробництва

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

---

біопалива з лісорослинницьких відходів: звіт про НДР (заключний) ІТТФ  
НАН України; кер. В.О.Кремньов, А.В.Тимощенко. Київ, 2019, 390 с. № ДР  
0115U002667.

UDC 676.242.3.06

**RESEARCH FOR DEVELOPMENT OF PACKAGING MATERIALS WITH SPECIFIC PROPERTIES WITHOUT ENVIRONMENTALLY HARMFUL ADDITIVES**

Graduating Student Tinytska Yelyzaveta., 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 із заданими властивостями без вмісту екологічно шкідливих добавок, що є досить актуальним. Вирішення такого класу задач має базуватися на проведенні серії експериментальних досліджень в лабораторних умовах та отримання результатів, які слугуватимуть основою для подальшого розроблення нових видів пакувальних матеріалів з наперед заданими характеристиками міцності та властивостями жиронепроникності. Для досягнення поставленої мети в даній роботі реалізовано серію експериментальних досліджень в широкому діапазоні зміни всіх впливових факторів. В результаті проведення такої серії спланованих експериментальних досліджень стало можливим в подальшому розробити комплекс математичних моделей. Планується за використання такого класу математичних моделей та сучасних комп'ютерних технологій провести пошук оптимальних умов для створення пакувальних матеріалів з наперед заданими та екологічно безпечними властивостями.

*Ключові слова:* папір, пакувальний матеріал, механічні показники міцності, жиронепроникність

**Summary.** The purpose of this research is to study the features of the development of packaging materials with specified properties without the content of environmentally harmful additives, which is quite relevant. The solution of this class of problems should be based on a series of experimental studies in the laboratory and obtain results that will serve as a basis for further development of new types of packaging materials with predetermined strength characteristics and grease resistance properties. range of change of all influencing factors. As a result of such a series of planned experimental studies, it became possible to further develop a set of mathematical models. It is planned to use this class of mathematical models and modern computer technology to find the optimal conditions for the creation of packaging materials with predetermined and environmentally friendly properties.

**Key words:** paper, packaging material, mechanical strength, grease resistance

The purpose of this research is to study the features of the development of packaging materials with specified properties without the content of environmentally harmful additives, which is quite relevant.

The solution of this class of problems should be based on a series of experimental studies in the laboratory and obtain results that will serve as a basis for further development of new types of packaging materials with predetermined strength characteristics and grease resistance properties.

To achieve this goal in this work implemented a series of experimental studies in a wide range of changes in all influencing factors. As a result of such a series of planned experimental studies, it became possible to further develop a set of mathematical models. It is planned to use this class of mathematical models and modern computer technology to find the optimal conditions for the creation of packaging materials with predetermined and environmentally friendly properties.

As you know, consumers of packaging material are confectioneries, bakeries, bakeries, meat plants, cold stores, fish processing plants, enterprises that produce spools for the textile industry, tea factories, organizations that procure medicinal herbs, manufacturers of compound materials and packaging for fast food and many others.

Packaging paper for packaging of each of the types of products differs in the mass of the area of 1 m<sup>2</sup>, whiteness, a set of barrier properties, mechanical strength, suitability of its surface for printing. For example, for lining baking trays in the manufacture of confectionery and bakery products, packaging for butter, margarine, minced meat, cheese products use parchment and parchment, ie packaging material that can withstand high temperatures and is characterized by high resistance to fat penetration. These types of packaging paper have a relatively low weight area of 1 m<sup>2</sup> (from 20 to 60 g / m<sup>2</sup>). Fat-and-moisture-resistant paper with high barrier properties is also used for packaging meat products (smoked sausages, meat, etc.), while low-resistance sub-parchment can be used for packaging frozen meat and fish.

The analysis of literature sources shows that today there are no ideal packaging materials and chemicals or their compounds that have universal properties and provide not only a high level of fat resistance of packaging material, but also provide the necessary set of structural and physical properties and performance properties. , which ensure the manufacturability of processing of packaging material during its manufacture, packaging and packaging and application of a multi-color label on one of its sides.

However, today there are a number of chemical compounds, substances and complexes that are used to increase grease resistance by introducing into the composition of the paper pulp or by applying to the surface of the paper web [1,2,3].

According to the results of research, ensuring a sufficient level of consumer and operational properties is possible due to the composition, which includes three or four components dissolved in water [3]. In addition to providing the necessary grease resistance, the treatment of paper with this composition also contributes to the increase of mechanical strength, namely: tensile strength during repeated bending and relative elongation. It is easy to understand that the treatment of paper with such compositions, regulating the content of each of the components and the ratio between them, allows the experimenter to produce packaging materials for different applications, ie packing and packaging of products and products with high and low fat content. high moisture content, including for packaging products that require high mechanical strength (eg, wrapping candy and caramel, etc.) in the machine and transverse directions, and extended shelf life.

Thus, in this work, which is the first stage of exploratory research, a series of experiments were conducted, on the basis of which it is possible to develop a number of mathematical dependences on different strength indicators of new generation packaging materials.

### **References**

1. *Ploskonos VG* Methodology of development of new composite materials based on paper and cardboard using innovative and computer technologies // International scientific journal "Internauka" .- 2020. № 3 (83), p.55-59, DOI : 10.25313 / 2520-2057-2020-3-5626.

2. *Trukhtenkova NE, Kilipenko AV etc.* Technology of packaging paper -M :, "Forest industry", 1974, 288 p.

3. *Ribalchenko VV, Koptyukh LA, Ploskonos VG, Osika VA* Increasing the fat impermeability of wrapping paper.// Packing 2007, - № 2, pp. 23-26.

UDC 676.242.3

## PACKAGING MATERIAL FOR STORAGE FRUIT

Graduating Student Tinytska Yelyzaveta., 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 результати інформативного пошуку з визначення складу та умов нанесення на пакувальний матеріал покриттів, що володіють одночасно бактерицидною і бар'єрною дією. На сьогоднішній час однією з найважливіших проблем підвищення ефективності розвитку та функціонування харчової промисловості в умовах ринкових відносин, підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції харчування не тільки на внутрішньому, але і на зовнішньому ринку є виготовлення і прискорене впровадження вітчизняних високоякісних пакувальних видів паперу і картону та екологічно безпечних технологій їх виробництва. Необхідно зазначити, що універсального пакувального матеріалу не існує. Залежно від виду продукту одна і та сама властивість упакування може бути корисною і шкідливою. Для тривалого зберігання фруктів у свіжому вигляді в багатьох країнах широко застосовуються пакувальні матеріали, що містять фунгіциди, що захищають від враження цвілевими грибами, і бар'єрні, що обмежують проникнення жиру, вологи, пари, речовини. Вибір фунгіциду або бар'єрної речовини - питання досить складне і залежить від виду фруктів, строків і умов зберігання та транспортування. У даному інформаційному пошуку приводяться результати з визначення складу та умов нанесення на пакувальний матеріал покриттів, що володіють одночасно бактерицидною і бар'єрною дією. Такі

покриття, на нашу думку, повинні забезпечувати захист цінних продуктів, що швидко псуються (у даному випадку, фруктів) у вологому повітряному середовищі. Для покриття бактерицидної дії використовували композиції на основі природних полімерів. Як папір-основу застосовували папір масою площі  $1 \text{ м}^2$  -35 г, з поверхневим всмоктуванням (Кобб 30) - 40-60 г/м<sup>2</sup>. Розчин полімеру готували безпосередньо перед нанесенням його на папір. Кількість нанесеного полімеру регулювали, змінюючи концентрацію робочого розчину.

**Ключові слова:** пакувальний матеріал, бактерицидні властивості,газопроникність, овочі, фрукти.

**Summary.** The purpose of this research is the results of an informative search to determine the composition and conditions of application to the packaging material of coatings that have both bactericidal and barrier action. Today one of the most important problems of improving the development and functioning of the food industry in market conditions, increasing the competitiveness of domestic food products not only in the domestic but also in the foreign market is the production and accelerated introduction of domestic high-quality packaging paper and cardboard and environmentally friendly technologies. their production. It should be noted that there is no universal packaging material. Depending on the type of product, the same packaging property can be beneficial and harmful. For long-term storage of fresh fruit in many countries are widely used packaging materials containing fungicides that protect against mold and barriers that limit the penetration of fat, moisture, steam, substances. The choice of fungicide or barrier substance is a complex issue and depends on the type of fruit, terms and conditions of storage and transportation. This information retrieval presents the results of determining the composition and conditions of application of coatings on the packaging material, which have both bactericidal and barrier action. Such coatings,



in our opinion, should provide protection for valuable perishable products (in this case, fruit) in humid air. Compositions based on natural polymers were used to coat the bactericidal action. As a base paper used paper weighing an area of 1 m<sup>2</sup> - 35 g, with surface absorption (Cobb 30) - 40-60 g/m<sup>2</sup>. The polymer solution was prepared immediately before applying it to the paper. The amount of applied polymer was adjusted by changing the concentration of the working solution.

**Key words** packaging material, bactericidal properties, gas permeability, vegetables, fruits.

The purpose of this research is the results of an informative search to determine the composition and conditions of application to the packaging material of coatings that have both bactericidal and barrier action.

Today one of the most important problems of improving the development and functioning of the food industry in market conditions, increasing the competitiveness of domestic food products not only in the domestic but also in the foreign market is the production and accelerated introduction of domestic high-quality packaging paper and cardboard and environmentally friendly technologies. their production.

Ukraine's entry into the European trade market has led to an increase in production capacity, which must meet the requirements of competitive cost. However, analyzing domestic and foreign experience in using different types of packaging materials: polymers, paper, cardboard, metal, glass, it should be noted that each of them has its own characteristics of application, sanitary, barrier and other properties, the availability of raw materials and equipment for its production, processing and utilization of waste. Therefore, paper and cardboard will not lose their importance in the future and will maintain the share of consumption in the market of packaging materials up to 40-50% [1,2].

It should be noted that there is no universal packaging material. Depending on the type of product, the same packaging property can be beneficial and harmful.

Yes, packaging transparency is in some cases desirable for products that require a visual assessment of their quality, but it is not desirable for products that are sensitive to light, especially in the ultraviolet wavelength range.

Another example is the gas permeability of the packaging material. In many cases, it should be minimal, because the penetration of oxygen causes damage to the product. However, often the packaging of physiologically active products (fresh vegetables, fruits, berries), for the normal operation of which requires a constant supply of oxygen and removal of carbon dioxide, it is not only desirable but also necessary.

For long-term storage of fresh fruit in many countries are widely used packaging materials containing fungicides that protect against mold and barriers that limit the penetration of fat, moisture, steam, substances. The choice of fungicide or barrier substance is a complex issue and depends on the type of fruit, terms and conditions of storage and transportation. At one time, sorbic acid was widely used as a preservative in the food industry, which has a wide range of fungicidal action against molds and is not toxic to humans. However, the application of sorbic acid on the paper base requires the selection and introduction of an additional binder to fix it [3,4].

Widespread use in the food industry of hermetic barrier packaging made of PVC and polyethylene film for fruit is undesirable, because the lack of air ventilation and a certain moisture content deprives the fruit of freshness and taste, ie the product must "breathe".

This information retrieval presents the results of determining the composition and conditions of application of coatings on the packaging material, which have both bactericidal and barrier action. Such coatings, in our opinion, should provide protection for valuable perishable products (in this case, fruit) in humid air.

Compositions based on natural polymers were used to coat the bactericidal action. As a base paper used paper weighing an area of 1 m<sup>2</sup> -35 g, with surface absorption (Cobb 30) - 40-60 g / m<sup>2</sup>. The polymer solution was prepared immediately before applying it to the paper. The amount of applied polymer was adjusted by changing the concentration of the working solution. Thus, with increasing concentration of the solution from 10 to 35%, the mass fraction of the substance applied to the surface of the paper increases from 4 to 22 g/m<sup>2</sup>. One of the main characteristics of the protective paper with the applied composition is to ensure its resistance to mold. The holding time of the samples in the contaminated medium ranged from 5 to 120 hours at a temperature of 25 °C and a relative humidity of 85%.

Thus, research to determine the composition, conditions, quantity, parameters and method of coating should be continued with further testing in production conditions with the production of small and industrial batches of packaging material and its testing during packaging and storage of fruits, grapes and other products.

### **References**

1. *Коптюх Л.А.* New technologies and processes for creating packaging paper and filter cardboard for the food industry. - Dis. on zdob. doctoral degree tech. Sciences K :, 1998, -458 S.
2. *Коптюх Л.А., Глушкова Т.Г.* Barrier properties of paper for food packaging. Packaging. –2003 -№6 –P.15-17.
3. *Кознетсов ЕМ etc.* Preservation of apple fruits depending on the method of packaging. - "Bull. scientific information of the Central Genetic Laboratory. IV Michurina ", 1984. - № 30. - P. 73-77.
4. Storage of apples in polyethylene packaging // Soviet trade. - 1980. - № 22. - P. 32.

**ЕКЦІЯ 3**  
**«ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА»**

УДК 531/534

**STUDY OF THE ISSUE OF GRAPHICAL AND ANALYTICAL METHODS  
OF SOLVING PROBLEMS OF STATIC**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІЧНОГО  
ТА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ СТАТИКИ.**

student Stasiuk A.Y., Doctor of philosophy, Associate Professor Shtefan N.I.

студент Стасюк А.Ю., к.т.н., доцент Штефан Н. І.

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**Національний технічний університет України**

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

**Annotation.** In this work, we study the linearized equations of motion of the system, considering a stationary holonomic system with  $N$  degrees of freedom. At the same time, we believe that it has at least one position of stable equilibrium. The principal is the description of the motion of the investigated system by means of Lagrange equations of the second kind, which are recorded through kinetic, potential energy and dissipative Rayleigh function. Cases that allow to move to linearized equations are considered.

**Анотація.** В даній роботі проводимо дослідження лінеаризованих рівнянь руху системи, розглядаючи стаціонарну голономну систему з  $N$  степенями вільності. При цьому вважаємо, що вона має хоча б одне положення стійкої рівноваги. Принциповим є описання руху досліджуваної системи за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду, які записані через кінетичну, потенціальну енергії та дисипативну функцію Релея. Розглянуто випадки, які дають можливість перейти до лінеаризованих рівнянь.

**Keyword:** Lagrange equation of the second kind, kinetic energy, potential energy, dissipative Rayleigh function, generalized coordinates, generalized velocities.

**Ключові слова:** рівняння Лагранжа другого роду, кінетична енергія, потенціальна енергія, дисипативна функція Релея, узагальнені координати, узагальнені швидкості.

Consider a stationary holonomic system with  $N$  degrees of freedom, which has at least one position of stable equilibrium. The movement of such a system is described by a system of Lagrange equations of the second kind

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} \quad (1)$$

, where  $T$ — kinetic energy of the system;  $\Pi$  — potential energy;  $\Phi$  — the dissipative function of Rayleigh.

Suppose that during the whole motion, the deviations of the system and the generalized velocities are small in absolute value, because the values of the velocities are close to zero, and the position of the system is close to the position of stable equilibrium

In this way we will get rid of members of higher orders, , it will allow to simplify the expression of differential equations of movement relative to the distance and speed to linear members.

Then we obtain a linear differential equation of motion, thereby linearizing the task.

To obtain the linearized level of movement of the mechanical system, follow the instructions below.

1. The expression for kinetic energy is written in the position of stable equilibrium, near which the motion of the system will be studied. Therefore, the generalized coordinates should be given in the form:

$$q_i = q_{i0} + x_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

If the kinetic energy depends on the coordinates  $q_i$ , you need to provide "equilibrium" values of  $q_{i0}$  in the calculation.

Deviation velocities  $x_t$  are taken as generalized velocities. As a result, we get:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N a_{jk} (q_{i0}, \dots, q_{N0}) \dot{x}_j \dot{x}_k \quad (3)$$

Thus, the kinetic energy of a linearized system is a positive definite quadratic form of the velocities  $x_j$  of its deviation from the equilibrium position.

2. For potential energy we use the expansion:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N c_{jk} x_j x_k, \quad c_{jk} = \left( \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_j \partial q_k} \right) \quad (4)$$

3. The dissipative Rayleigh function is also written in the form of a quadratic form of deviation velocities:

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \beta_{jk} \dot{x}_j \dot{x}_k \quad (5)$$

Since  $q_{i0} = \text{const}$ , replacing  $q_i$  with  $x_i$  does not affect the coefficients  $\beta_{jk}$ .

Thus, from expressions (4), (3), we obtain the deviation  $x_i$ ; considering it to be generalized coordinates. It is for them that we compose the Lagrange equation of the second kind, which will describe small oscillations of the system:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} = - \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial \Pi}{\partial x_i}$$

$$, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Substituting  $T$  and  $\Phi$  from expressions (3) and (4) into equation (6), we obtain a system of  $N$  linear differential equations of the second order with constant coefficients:

$$\sum_{j=1}^N (a_{ij} p^2 + \beta_{ij} p + c_{ij}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

Note the differentiation operator as  $p = \frac{d}{dt}$ . Then the system (7) can be written in the form

$$\sum_{j=1}^N (a_{ij}p^2 + \beta_{ij}p + c_{ij})x_j = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

The system of equations has non-trivial solutions, since the determinant of system (8) is zero:

$$\Delta = \begin{bmatrix} a_{11}p^2 + \beta_{11}p + c_{11} & \dots & a_{1N}p^2 + \beta_{1N}p + c_{1N} \\ a_{21}p^2 + \beta_{21}p + c_{21} & \dots & a_{2N}p^2 + \beta_{2N}p + c_{2N} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}p^2 + \beta_{N1}p + c_{N1} & \dots & a_{NN}p^2 + \beta_{NN}p + c_{NN} \end{bmatrix} = 0$$

or explicitly:

$$a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0 \quad (9), \text{ де } m = 2N.$$

This equation is called characteristic. In general, it has  $2N$  complex-conjugate, which have the appearance  $p_k = \lambda_k \pm i\omega_k$  — the real part;  $i^2 = -1$ ;  $\omega_k$  — the cyclic frequency of oscillations;  $k = 1, 2, \dots, N$

Using Euler's formula:

$$e^{\pm i\omega t} = \cos \omega t \pm i \sin \omega t$$

The general solution of the system (7) can be given as:

$$x_i = \sum_{j=1}^N e^{\lambda_i t} (C_{ij} \cos \omega t \pm D_{ij} \sin \omega t), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Where  $C_{ij}$ ,  $D_{ij}$  are constants of integration.



As can be seen from expression (10), in order for the equilibrium position to be asymptotically stable according to definition (2), the real parts  $\lambda_i$  of the roots of the characteristic equation must be negative.

The conclusion about the asymptotic stability of the system can be made without explicitly finding the characteristic equation (9), based on of the criterion Hurwitz: *in order for all the roots of equation (9) to have negative real parts, it is necessary and sufficient that all the main diagonal minors of the Hurwitz matrix composed of the coefficients of equation (9) are positive*

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_m \end{bmatrix},$$

$$\Delta_1 = a_1 > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0, \quad \Delta_m = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_m \end{vmatrix} > 0$$

So, from this criterion, it follows that all coefficients of the characteristic equation must be positive. This result can be used to check the correctness of the equations of small oscillations of the system.

---

**DETERMINING THE EQUILIBRIUM POSITION OF A DISC ROTATING  
AROUND A FIXED AXIS AND TESTING IT FOR STABILITY.**

Student Nefodova K. V., Doctor of philosophy, Associate Professor **Shtefan N.I.**

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**Annotation.** *In this paper, we conduct research to determine the equilibrium position of the disk rotating around a fixed axis and check it for stability. We enter the generalized coordinate, determine the potential energy of the system, determine the equilibrium position, analyzing the solutions of the equilibrium equation. To test for stability, we use the Lagrange-Dirichlet theorem. Conclusions on the stability of equilibrium positions are made.*

**Keyword:** LAGRANGE-DIRICHLET THEOREM, GENERALIZED COORDINATE, POTENTIAL ENERGY OF THE SYSTEM, EQUILIBRIUM EQUATIONS, EQUILIBRIUM POSITIONS, STABILITY TEST, STABILITY OF EQUILIBRIUM POSITIONS.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ РІВНОВАГИ ДИСКА, ЩО  
ОБЕРТАЄТЬСЯ НАВКОЛО НЕРУХОМОЇ ОСІ ТА ПЕРЕВІРКА ЙОГО  
НА СТІЙКІСТЬ .**

Студент Нефьодова К. В., к.т.н., доцент Штефан Н.І.

**Національний технічний університет України**

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

**Анотація.** *В даній роботі проводимо дослідження з визначення положення рівноваги диска, що обертається навколо нерухомої осі та перевірки його на стійкість. Вводимо узагальнену координату, визначаємо потенціальну енергію системи, визначаємо положення рівноваги, аналізуючи*

*розв'язки рівняння рівноваги. Для перевірки на стійкість застосовуємо теорему Лагранжа-Діріхле. Зроблено висновки щодо стійкості положень рівноваги.*

**Ключові слова:** теорема Лагранжа-Діріхле, узагальнена координата, потенціальна енергія системи, рівняння рівноваги, положення рівноваги, перевірка на стійкість, стійкість положень рівноваги.

A homogeneous disk (Fig. 1) with radius  $R$  and the whole  $P$  can rotate in a vertical plane around a fixed axis  $Oz$  passing through its edge. At a point  $A$  lying on the same diameter as a point  $O$ , a spring with a stiffness  $c$  is attached to the disk, the opposite end of which is fixed at point  $B$ . The distance  $OA = a$ . When the segment  $OA$  occupies vertical positions, the axis  $AB$  of the spring is horizontal and the spring is not deformed.

The length  $l$  of the unformed spring is much greater than the distance  $a$ .

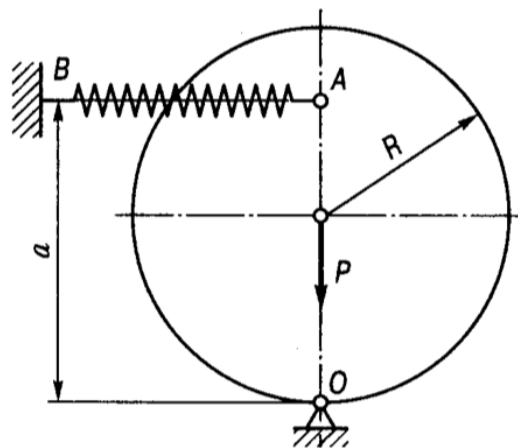


Fig. 1

Find the equilibrium position of the disk and check their stability. We consider the angle  $\varphi$  (Fig. 2) of the deviation of the segment  $OA$  from the vertical as a generalized coordinate.

The potential energy of the system consists of the potential energy of the  $\Pi_{\Gamma}$  of the disk in the field of gravity and the potential energy  $\Pi_{\text{np}}$  of the deformation of the spring:

$$\Pi = \Pi_{\Gamma} + \Pi_{\text{np}} \quad (1)$$

Let's find

$$\Pi_{\Gamma} = PR \cos \varphi \quad (2)$$

(for the zero level of potential energy of gravity is taken the level of the hinge  $O$ .)

Next, we write

$$\Pi_{\text{np}} = \frac{c\Delta^2}{2} \quad (3)$$

where  $\Delta$  - change in spring length during deformation:

$$\Delta = \sqrt{l^2 + (2a \sin \frac{\varphi}{2})^2} - 2l \cdot 2a \sin \frac{\varphi}{2} (\frac{\pi}{2} + \beta) - l$$

Taking into account that  $\beta = \frac{1}{2}(\pi - \varphi) = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}$ , this equation can be reduced to the form

$$\Delta = \sqrt{l^2 + 4a(a \sin \frac{\varphi}{2} + l \cos \frac{\varphi}{2}) \sin \frac{\varphi}{2}} - l$$

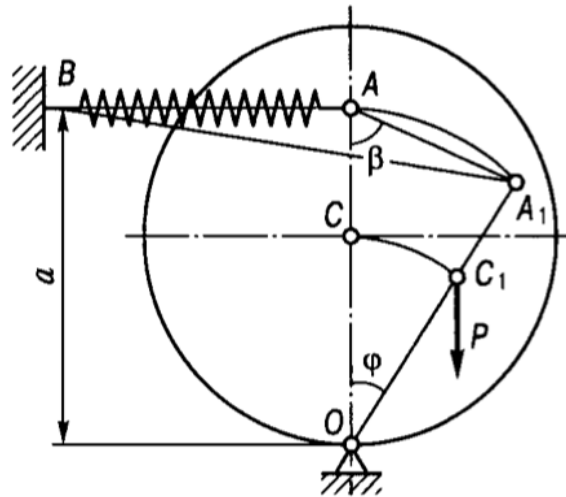


Рис. 2

Assuming the length  $l$  of the undeformed spring is very large, we find

$$\Delta = \lim_{l \rightarrow \infty} \sqrt{l^2 + 4a\left(a\sin\frac{\varphi}{2} + l\cos\frac{\varphi}{2}\right)\frac{\sin\varphi}{2}} - l = a\sin\varphi$$

Substituting the found change  $\Delta$  in (3), than (2) and (3) in (1), we will receive

$$\Pi = PR\cos\varphi + \frac{ca^2}{2}\sin^2\varphi \quad (4)$$

To determine the equilibrium positions, we calculate

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = -PR\sin\varphi + ca^2\sin\varphi\cos\varphi = (-PR + ca^2\cos\varphi)\sin\varphi \quad (5)$$

Hence we have the equation of equilibrium

$$(-PR + ca^2\cos\varphi)\sin\varphi = 0$$

This equation has solutions

$$\varphi_1 = 0; \quad \varphi_2 = \pi; \quad \varphi_{3,4} = \pm \arccos \frac{PR}{ca^2}$$

Note that solutions  $\varphi_{3,4}$  exist only under the condition  $PR < ca^2$

To test the stability, we apply the Lagrange-Dirichlet theorem. Redifferentiating (5), we find

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} = -PR \cos \varphi + ca^2 (2 \cos^2 \varphi - 1).$$

After direct substitution we get

$$\left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2}\right)_{\varphi=0} = -PR + ca^2$$

The condition of the Lagrange-Dirichlet theorem will be satisfied if

$$ca^2 > PR$$

It is at this ratio of the system parameters that the "upper" equilibrium position ( $\varphi = \pi$ ) is always stable.

Finally, with a similar substitution we can see that for  $\varphi_{3,4}$  the conditions of the Lagrange-Dirichlet theorem are never satisfied within the limits of the existence of the corresponding solutions. It can be shown that the corresponding equilibrium positions are always unstable, and the angles  $\varphi_3$  and  $\varphi_4$  determine the boundary points of the regions of attraction to the position of stable equilibrium  $\varphi_3$  and  $\varphi_4$ .

**DETERMINATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF DRUM**

**MOTION ROTATING AROUND A FIXED AXIS**

**ОТРИМАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ РУХУ БАРАБАНА,**

**ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ НАВКОЛО НЕРУХОМОЇ ОСІ**

Student Kizenko P. V., Doctor of philosophy, Associate Professor Shtefan N.I.

Студент Кізенко П.В., к.т.н., доцент Штефан Н. І.

**National Technical University of Ukraine**

**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

**Національний технічний університет України**

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

**Annotation.** The differential equations of motion of a drum rotating about a fixed axis are obtained using the Lagrange equations of the second kind, composing them for a mechanical system with retaining holonomic constraint. We give the system a generalized possible displacement, make kinematic dependences for a mechanical system with one degree of freedom. We obtain a second-order differential equation that corresponds to the problem.

**Анотація.** Отримання диференціальних рівнянь руху барабана, що обертається навколо нерухомої осі, проводимо за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду, складаючи їх для механічної системи з утримуючими голономними в'язями. Надаємо системі узагальнене можливе переміщення, складаємо кінематичні залежності для механічної системи з одним ступенем вільності. Отримуємо диференціальне рівняння другого порядку, яке відповідає поставленій задачі.

**Keywords:** Lagrange's equation of the second degree, generalized coordinates, generalized velocities, retaining holonomic constraint, generalized possible movement.

---

**Ключові слова:** рівняння Лагранжа другого роду, узагальнені координати, узагальнені швидкості, утримуючі голономні в'язі, узагальнене можливе переміщення.

The method of applying the Lagrange equations of the second degree is to perform such a sequence of actions:

Determine the number of degrees of freedom:

1. Choose generalized coordinates in the number of degrees of freedom.
2. Identify generalized forces. This can be done in several ways:

a) determine the generalized force as a coefficient in the expression of the sum of elementary works of active forces on the corresponding generalized possible displacements.

b) if the forces acting on the mechanical system are potential, then the potential energy  $\Pi$  of the mechanical system must be determined as a function of generalized coordinates. The generalized force  $Q_j$  is defined as the partial derivative of the potential energy according to the corresponding generalized coordinate  $q_j$ , taken with a minus sign;

c) determine the generalized force.

4. Find the kinetic energy of the system as an expression that depends on generalized coordinates and generalized velocities. If the motion of the system takes place in a potential force field, then it is necessary to find the potential energy of the system, and then compose the Lagrange function.

5. Determine partial derivatives  $\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j}$ ,  $\frac{\partial T}{\partial q_j}$  and complete time derivatives

$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j}$ . In the case of a potential system, the derivatives  $\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j}$ ,  $\frac{\partial T}{\partial q_j}$  and  $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j}$ .

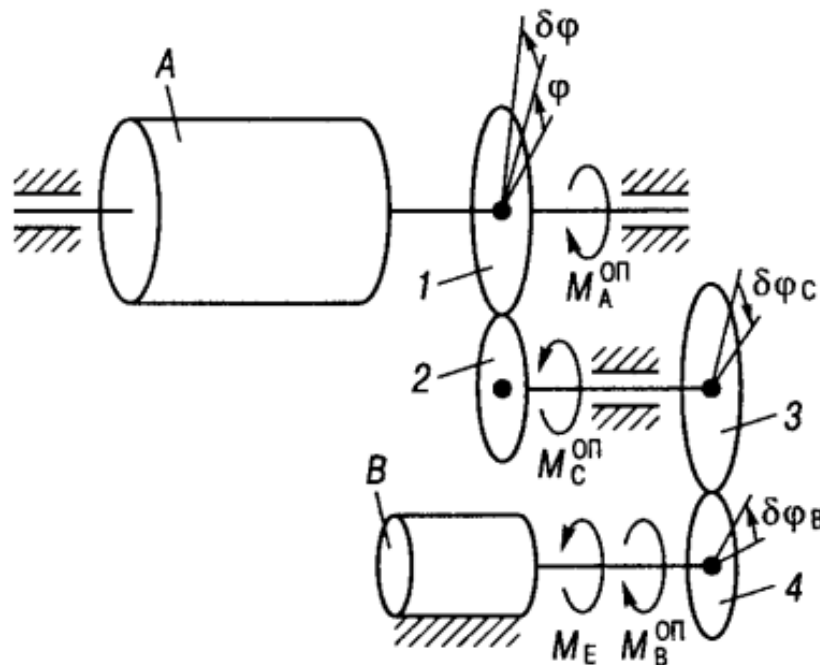
6. Compose the Lagrange equation of the second kind in one of the forms and integrate them taking into account the initial conditions.



7. Analyze the solution according to the specifics of the problem under consideration.  $M_A^{оп} M_B^{оп} M_C^{оп} \frac{r_3}{r_4} = i_{34}$

We turn to the research of obtaining differential equations of motion of a drum rotating around a fixed axis.

Drum  $A$  rotates around a fixed axis and is driven by an electric motor  $B$  through a reduction drive consisting of four gears (pic. 1). Constant torque  $M_E$  is applied to the motor rotor. When the system moves there are moments of resistance:  $M_A^{оп}$  – in the bearings of the axis of rotation of the drum  $A$ ,  $M_B^{оп}$  – in the bearings of the axis of rotation of the rotor of the electric motor,  $M_C^{оп}$  – in the bearings of the axis of rotation of gears 2 and 3. The ratio of the radii of the gears, ie gear ratios  $\frac{r_3}{r_4} = i_{34}$ .



(pic. 1)

Compose differential equations of drum motion if the axial moment of inertia of drum  $A$  and gear 1 is  $I_A$ , and the axial moment of inertia of a pair of gears 2 and 3 and the axial moment of inertia of rotor of electric motor and gear 4 are  $I_C$  and  $I_B$  respectively.

Solution. This mechanical system has one degree of freedom. Its movement is limited to stationary holonomic constraint. For the generalized coordinate we take the angle of rotation  $\varphi$  of drum  $A$ . Then the Lagrange equation of the second degree will have the form

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi} \quad (1)$$

Find the kinetic energy of this mechanical system

$$T = T_A + T_B + T_C \quad (2)$$

as a function of generalized coordinates and generalized velocity.

All bodies of this system rotate around fixed axes

$$\begin{aligned} T_A &= \frac{1}{2} I_A \omega_A^2, T_B = \frac{1}{2} I_B \omega_B^2, T_C \\ &= \frac{1}{2} I_C \omega_C^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Here  $\omega_A = \dot{\varphi}$ . Express the angular velocities  $\omega_B$  and  $\omega_C$  through  $\dot{\varphi}$ . Given the equality of speeds at the points of contact of wheels 1 and 2, as well as wheels 3 and 4, obtain

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2, \omega_3 r_3 = \omega_4 r_4,$$

considering that what  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  angular velocities of gears.

Whereas  $\omega_1 = \omega_A = \dot{\varphi}$ ,  $\omega_C = \omega_2 = \omega_3$ ,  $\omega_B = \omega_4$ , obtain

$$\begin{aligned} \omega_C &= \dot{\varphi} \frac{r_1}{r_2} = \dot{\varphi} i_{12}, \omega_B = \omega_3 \frac{r_3}{r_4} \\ &= \dot{\varphi} i_{12} i_{34}. \end{aligned} \quad (4)$$

After substituting  $\omega_C$  and  $\omega_B$  from expressions (4) in (3) we obtain the kinetic energy of system (2) in the form

$$T = \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 (I_A + I_B i_{12}^2 i_{34}^2 + I_C i_{12}^2). \quad (5)$$

Determine the partial derivatives:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= 0, \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \\ &= (I_A + I_C i_{12}^2 + I_B i_{12}^2 i_{34}^2) \dot{\varphi}. \end{aligned} \quad (6)$$

The generalized force  $Q_\varphi$  is determined from the expression of the elementary work of the active forces of the system. We give the system a generalized possible displacement  $\delta\varphi$  towards the positive values of the angle of rotation of the drum  $A$  (pic. 1). Then, taking into account the kinematic relations (4) and the stationary nature of the bonds (actual displacements are a special case of possible ones), we can record the corresponding possible displacements of bodies  $B$  and  $C$ :

$$\begin{aligned} \delta\varphi_C &= i_{12} \delta\varphi, \delta\varphi_B \\ &= i_{12} i_{34} \delta\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Active forces include the forces of gravity of the bodies of the system, a pair of forces equivalent to torque. Conditionally attributed to the active moments of resistance.

The forces of gravity on the given possible displacement  $\delta\varphi$  do not work, because they are applied at points belonging to the axis of rotation of the bodies.

Let's write down the work of torque and moments of resistance, conditionally considering them active:

$$\begin{aligned} \delta A &= M \delta\varphi_B - M_A^{\text{оп}} \delta\varphi - M_C^{\text{оп}} \delta\varphi_C \\ &\quad - M_B^{\text{оп}} \delta\varphi_B. \end{aligned} \quad (8)$$

Substitute the displacement  $\delta\varphi_C$  and  $\delta\varphi_B$  from formulas (7) in expression (8) and collect the coefficients at  $\delta\varphi$ :

$$\begin{aligned} \delta A & \\ &= (M - M_A^{\text{оп}} - M_C^{\text{оп}} i_{12} - M_B^{\text{оп}} i_{12} i_{34}) \delta\varphi. \end{aligned} \quad (9)$$

therefore,

$$\begin{aligned} Q_\varphi & \\ &= M - M_A^{\text{оп}} - M_C^{\text{оп}} i_{12} - M_B^{\text{оп}} i_{12} i_{34}. \end{aligned} \quad (10)$$

The differential equation of motion of this system after substituting the formulas for partial derivatives and the generalized force from (6) and (10) into expression (1) takes the form

$$\begin{aligned} (I_A + I_C i_{12}^2 + I_B i_{12}^2 i_{34}^2) \ddot{\varphi} \\ = M - M_A^{\text{оп}} - M_C^{\text{оп}} i_{12} - M_B^{\text{оп}} i_{12} i_{34} \end{aligned} \quad (11)$$

Equation (11) is integrated according to the known rules of the theory of differential equations taking into account the initial conditions.

Used literature:

1. Павловский М. А. Теоретична механіка: Підруч. – К.: Техніка, 2007. – 347 ст.

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

<b>MATHEMATICAL MODEL OF EVAPORATION OF LIQUID FILM OF SOLUTION ON THE SURFACE OF A SPHERICAL GRANULES</b>	
Hotskyi Y. H., Stepaniuk A., Ivanytskyi H.K.	6
<b>KINETICS OF CONVECTIVE DEHYDRATION OF MELON FRUITS</b>	
Dmytrenko N., Husarova O., Shapar R.	12
<b>MODERNIZATION OF RADIATION - CONVECTIVE INSTALLATION FOR ZEOLITE DRYING</b>	
Kushniruk V.M., Novokhat O. A.	15
<b>ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН</b>	
Малашук Н.С., Дабіжа Н.О., Снежкін Ю.Ф.	18
<b>TECNOLOGIES FOR DRYING SPICY-AROMATIC PLANTS</b>	
Malashchuk N., Dr. Sc. Snezhkin Y., Ph. D. Dabizha N.	20
<b>RESEARCH OF KINETICS OF DRYING OF BIOGRANULES AT THE EXPERIMENTAL-INDUSTRIAL INSTALLATION</b>	
Novikova Yu., Petrov A.	22
<b>INSTALLATION OF A SHOE PRESS</b>	
Novokhat O. A.	25
<b>WAYS TO IMPROVE THE CLEANING OF PRESS FELTS</b>	
Novokhat O. A.	29
<b>STUDY OF KINETICS OF DRYING OF DOGWOOD (<i>Cornus mas L.</i>) ON A CONVECTIVE DRYING STAND</b>	
Petrova Zh., Slobodianiuk K.	31
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ НАСІННЕВОЇ КУКУРУДЗИ</b>	
Вишнівська Т.А., Вишнівський В.М.	34
<b>АКТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ</b>	
Вірич С. В., Гулієнко С.В.	40
<b>INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CAVITATION MECHANISMS ON HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN A PULSATING APPARATUS</b>	
Hozhenko L. P.	42
<b>MATHEMATICAL MODEL OF THERMOPLASTIC MELTING IN DISK EXTRUDER</b>	
Kovba A., Shved M	45

---

<b>СХОЖІСТЬ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЯК ОДИН ІЗ ВАЖЛИВИХ ПОКАЗНИКІВ</b>	
Петрова Ж.О., Самойленко К.М., Вишнівський В.М.	50
<b>СТЕНДИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕМОЦИКЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ РІЗНОЇ В'ЯЗКОСТІ</b>	
Демченко В.Г., Коник А.В., Фалько В.Ю.	54
<b>MODERNIZATION OF RECTIFICATION COLUMN</b>	
Мудрик М. І., Степанюк А. Р.	61
<b>ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ПРИ СУШІННІ ЗЕРНА</b>	
Пазюк В.М.	64
<b>СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ КАВІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ГІДРОНАСОСІВ</b>	
Рубльов А.В.	70
<b>MODERNIZATION OF THE CASEIN DRYING MACHINE</b>	
Marchevskiy V., Glibovets S., Shashkov V.	72
<b>AIR CIRCULATION INSIDE THE PIPE DURING CALIBRATION</b>	
Podyman H.	75
<b>THE USE OF FIBER-REINFORCED CONCRETE</b>	
Andreiev I.	78
<b>THE TRENDS OF THE DEVELOPMENT IN MATHEMATICAL SIMULATION OF PRESSURE DRIVEN MEMBRANE PROCESSES: THE ANALYSIS OF PUBLICATIONS IN MAIN SCIENTIFIC DATABASES</b>	
Muzyka S.M., Hulienko S.V.	82
<b>CONTROLLING THE TEMPERATURE QUALITY OF THE MELT IN THE POLYMER DISC EXTRUSION PROCESS</b>	
Novodvorskiy V., Shved M.	86
<b>DEVELOPMENT CONCEPT OF A SCHEME TECHNOLOGY FOR THE INTENSIFICATION OF THE WASTEWATER TREATMENT WITH USING HYDRODYNAMIC CAVITATION</b>	
Ivanytskyi H. K., Tselen B. Ya., Radchenko N. L., Shchepkin V.I.	89
<b>ВИКОРИСТАННЯ ЕКСТРУЗІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ОТРИМАННІ СУХИХ ДІСТИЧНИХ СУМІШЕЙ</b>	
Іваницький Г.К., Целень Б.Я., Ганзенко В.В., Радченко Н.Л.	91
<b>EFFECT OF HYDRODYNAMIC CAVITATION ON THE PROCESS OF WASTEWATER TREATMENT OF DAIRY INDUSRTY</b>	
Ivanytskyi H. K., Tselen B. Ya., Radchenko N.L., Shulyak V.V.	94
<b>ОТРИМАННЯ СУХИХ СУМІШЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСТРУДОВАНОГО ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА</b>	

---

Іваницький Г.К., к.т.н.,с.н.с. Целень Б.Я., к.т.н.,с.н.с. Радченко Н.Л. <b>THE EVALUATION OF THE EFFECTIVITY OF THE BARIUM CHLORIDE CONCENTRATION BY REVERSE OSMOSIS</b>	97
Yasenchuk V.V., Huliienko S.V. <b>ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ НА ОСНОВІ ТОНКОСТІННИХ ГОФРОВАНИХ ТРУБ</b>	100
Чалаєв Д.М., Сильнягіна Н.Б., Степанова О.Є. <b>СПОСІБ ТА ОБЛАДНАННЯ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМУ НАГРІВАННІ І ПЛАВЛЕННІ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ</b>	103
Ободович О.М., Сильнягіна Н.Б., Степанова О.Є. <b>MODELING OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS IN POLYMER EXTRUSION</b>	105
Trachuk Y. V., Shved M.P. <b>EVALUATION OF QUALITY OF HYDRODYNAMICS IN GAS DISTRIBUTION DEVICES FOR NON-UNIFORM FLUIDIZATION</b>	108
Kornienko Y.M., Haidai S.S., Yevziutin P.Y., Sameliuk O.V. <b>ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ: АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ В ПРОВІДНИХ ТЕМАТИЧНИХ ЖУРНАЛАХ</b>	112
Музика С.М., Гулієнко С.В., <b>TECNOLOGIES FORDRYING SPICY-AROMATIC PLANTS</b>	122
Malashchuk N., Snezhkin Y., Dabizha N. <b>ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН</b>	126
Малащук Н.С., Дабіжа Н.О., Снежкін Ю.Ф. <b>PECULIARITIES OF MOVEMENT OF FLOODED GAS JET IN DISPERSE SYSTEMS</b>	129
Kornienko Y.M., Haidai S.S., Yevziutin P.Y, Sameliuk O.V. <b>INFLUENCE OF THE CHOICE OF THE CONSENSUS ALGORITHM IN PROJECTS BUILT ON DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY ON ENERGY EFFICIENCY AND THE ENVIRONMENTAL COMPONENT</b>	131
student Anton Kosenko	138

**СЕКЦІЯ 2**

**«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»**

<b>MODERN FORESTRY - PROBLEMS OF SUSTAINABLE COOPERATION WITH ENERGY AND OTHER BRANCHES OF SOCIAL ECONOMY</b>	
Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Kremnev V., Stetsuk V.	146
<b>COORDINATION OF SIMULTANEOUS ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES IN FORESTRY AND HEAT GENERATING FACILITIES IN ORGANIZING THEIR SUSTAINABLE INTERACTION</b>	
Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Kremnev V., Stetsuk V.	148
<b>RESEARCH FOR DEVELOPMENT OF PACKAGING MATERIALS WITH SPECIFIC PROPERTIES WITHOUT ENVIRONMENTALLY HARMFUL ADDITIVES</b>	
Tinytska Y., Ploskonos V.G.	151
<b>PACKAGING MATERIAL FOR STORAGE FRUIT</b>	
Tinytska Y., Ploskonos V.G.	155

**СЕКЦІЯ 3**

**«ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА»**

<b>STUDY OF THE ISSUE OF GRAPHICAL AND ANALYTICAL METHODS OF SOLVING PROBLEMS OF STATIC</b>	
Stasiuk A.Y, Shtefan N. I.	161
<b>DETERMINING THE EQUILIBRIUM POSITION OF A DISC ROTATING AROUND A FIXED AXIS AND TESTING IT FOR STABILITY.</b>	
Nefodova K. V., Shtefan N.I.	166
<b>DETERMINATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF DRUM MOTION ROTATING AROUND A FIXED AXIS</b>	
Kizenko P. V., Shtefan N.I.	171



### **Рішення**

XXII 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 виробнихвиробництва

А.Р.Степанюк