

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

---

**ПРАЦІ**

**Таврійського державного  
агротехнологічного  
університету**



---

**Випуск 19, том 2**

**Наукове фахове видання  
Технічні науки**



**Мелітополь – 2019 р.**

Міністерство освіти і науки України



**ПРАЦІ**  
Таврійського державного  
агротехнологічного університету

**Випуск 19, том 2**

**Наукове фахове видання**  
**Технічні науки**

**Мелітополь – 2019 р.**

**УДК 664.002.5****Т 13**

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. 306 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ імені Дмитра Моторного, Протокол № 7 від 26.02.2019 року

Представлені результати досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, харчових технологій, електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Google Scholar, eLibrary, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного:

**Головний редактор**

Кюрчев В. М. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Діордієв В. Т. - д.т.н., проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Кашкар'єв А. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Beloev Hristo - д.т.н., проф. (Болгарія)

Ivanovs Semjons - PhD (Latvia)

Нукешев Саяхат - д.т.н., проф. (Казахстан)

Прищепов М.А. - д.т.н., доц. (Білорусь)

Постолатій В. М. - д.х.т.н. (Молдова)

Шингисов А. У. - д.т.н., проф. (Казахстан)

Волошина А.А. - д.т.н., проф. (Україна)

Гнатушенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. А. - д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Караєв О. Г. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кузнецов М. П. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Леженкін О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. - д.т.н., проф. (Україна)

Малкіна В. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Мілько Д. О. - д.т.н., в.о. проф. (Україна)

Назаренко І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Паламарчук І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. - д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. - д.т.н., доц. (Україна)

Пріс О. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. - д.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Тарасенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. - к.т.н., доц. (Україна)

Квітка С. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Лендел Т. І. - к.т.н., (Україна)

Лясковська С. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Самойчук К. О. - д.т.н., доц. (Україна)

Сидоренко О. С. - к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. - к.т.н., проф. (Україна)

Строкань О. В. - к.т.н., доц. (Україна)

Мацулевич О. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. - к.т.н. (Україна)

Яковлев В. Ф. - к.т.н., проф. (Україна)



Відповідальний за випуск – д.т.н., доцент Самойчук К.О.

Адреса редакції: ТДАТУ імені Дмитра Моторного  
просп. Б. Хмельницького 18,  
м. Мелітополь Запорізька обл.  
72312 Україна

ISSN 2078-0877

© Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного, 2019

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 663.058.4

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-3-11

**ВПЛИВ ВІДСТАНИ МІЖ СОПЛАМИ ФОРСУНОК НА  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННОГО  
ЗМІШУВАЧА НАПОЇВ**

Самойчук К. О., д. т. н.,

Ялпачик В. Ф., д. т. н.,

В'юник О. В., асистент\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел. (06192) 42-13-06

**Анотація** – у статті наведено результати аналітичних і експериментальних досліджень. Представлена аналітично визначена залежність відстані між соплами форсунок від діаметру сопла за умови отримання найвищої продуктивності змішувача. Представлено загальний вид пристрою для експериментальних досліджень процесу змішування рідин. За результатами аналітичних і експериментальних досліджень побудовано залежності продуктивності змішувача від відстані між соплами форсунок при різних значеннях тиску подачі рідини.

**Ключові слова** – змішування, експеримент, рідина, відстань між соплами форсунок, продуктивність.

*Постановка проблеми.* Технологічне призначення перемішування рідин різноманітне. Цей процес застосовують у харчовій промисловості для інтенсифікації хімічних, теплових і масообмінних процесів, а також для приготування емульсій, суспензій та розчинів. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування купажного сиропу або концентрату з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів.

Сьогодні безалкогольні напої користуються дуже великим попитом, тому розробка і впровадження у виробництво змішувачів, які забезпечать якісне перемішування рідин при мінімальних витратах енергії і часу є актуальним. Змішувачі повинні бути економічними, надійними, простими у виготовленні та обслуговуванні, мати прості схеми включення в різні установки.

В результаті аналізу різних способів перемішування рідин

---

© Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., В'юник О. В.

\* Науковий керівник – д. т. н., доц. Самойчук К. О.

протитечійно-струминне змішування було виділене як найбільш перспективне [1].

Дослідження струминного змішування рідин складний процес, зокрема проблематичним є аналітичне визначення впливу відстані між соплами форсунок на витрату рідини, а значить на продуктивність змішувача. Також визначення впливу відстані між соплами форсунок є важливим для знаходження швидкості струменів у момент зіткнення, адже саме швидкість струменів визначає якість змішування.

Побудова аналітичної моделі протитечійно-струминного змішувача рідин не можлива без визначення впливу відстані між форсунками на витрату рідини при незмінному тиску на вході форсунки.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Ця робота є складовою частиною циклу статей, присвячених струминному змішуванню рідких компонентів. В попередніх статтях було обґрунтовано спосіб перемішування [2], конструкція змішуючого апарату [3], метод оцінювання якості перемішування [4]. Експериментально досліджено вплив основних технологічних і конструктивних параметрів змішувача на забезпечення необхідного вмісту підмішуваного компонента в готовому розчині [5]

В проаналізованій роботі [6] представлені емпіричні дані із визначення швидкостей струменів води (що витікають у повітря) для форсунок з діаметром сопел ( $d_c$ ) 4,5...5 мм.

Для зустрічних струменів при діаметрі сопел форсунок 1мм, малих відстанях ( $0,5 - 1d_c$ ) експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність [7].

У відомій нам літературі немає даних із безпосередньої зміни середньої швидкості рідини у зустрічних струменях з поперечним розміром у декілька міліметрів при відстані між соплами від  $d_c$  і більше. Ці дані є дуже важливими, адже від швидкості струменів у момент зіткнення залежить якість перемішування компонентів, а також продуктивність змішувача.

*Формулювання мети статті.* Висунута гіпотеза, що при надмірному зближенні форсунок, зовнішній тиск струменя рідини, що виходить з форсунки, буде більшим за атмосферний, що призведе до зменшення надлишкового тиску, і, як наслідок, зменшення ступеня перемішування. Водночас зменшиться і продуктивність змішувача. При збільшенні відстані між соплами форсунок буде зменшуватись швидкість струменів у момент зіткнення, що також зменшить якість змішування рідин. Таким чином задачею даної роботи є аналітичне й експериментальне визначення залежності витрати рідини від відстані між соплами форсунок, що є необхідним для побудови аналітичної моделі протитечійно-струминного змішувача рідин.

*Виклад основного матеріалу дослідження.* Технологія виготовлення безалкогольних напоїв є комплексом конкретних операцій, які здійснюються в певній послідовності. Очищена і помя'кшена вода надходить в збірник. Звідти, за допомогою насоса, вона подається на мембранний фільтр і направляється в холодильник, насичується діоксидом вуглецю та змішується з купажним сиропом чи концентратом.

Визначимо мінімальну відстань між соплами форсунок  $a_{min}$  з умови забезпечення найвищої продуктивності змішувача.

Для отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок,  $S_2$ , м<sup>2</sup>, (на рис. 1 відмічена штрихпунктирною лінією) була більше за площу отворів форсунок, тобто

$$S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}. \quad (1)$$

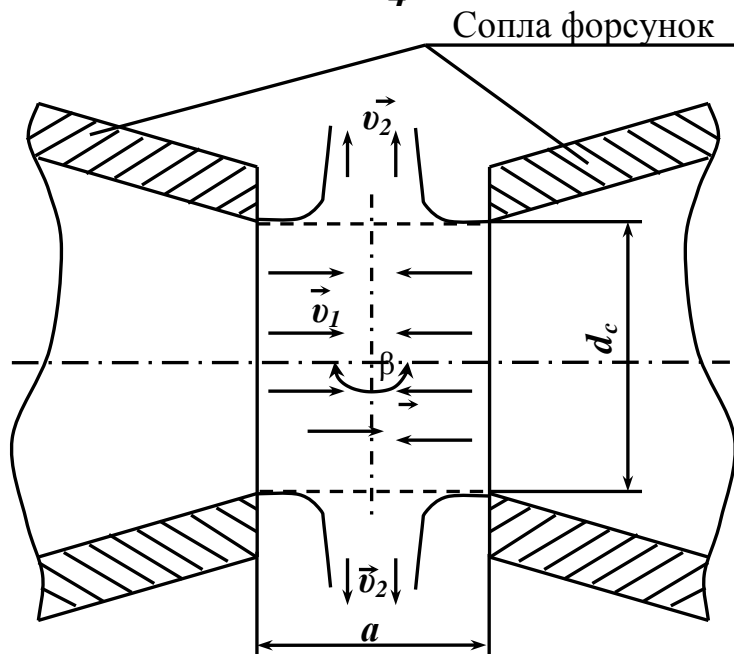


Рис. 1. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок за умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача.

Враховуючи, що  $S_2 = \pi d_c a$ , після перетворень отримаємо

$$a > \frac{d_c}{2}, \quad (2)$$

тобто

$$a_{min} = 0,5 d_c. \quad (3)$$

Звідки при  $a \geq d_c / 2$  продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою:

$$Q = \mu \pi d_c^2 \sqrt{\frac{\rho_m}{2} \cdot \Delta p}, \quad (4)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт витрат (залежить від конструкції форсунки);

$d_c$  - діаметр сопел форсунок, мм;

$\rho_m$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta p$  - надлишковий тиск у форсунках, Па,

а при  $a < d_c / 2$

$$Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}. \quad (5)$$

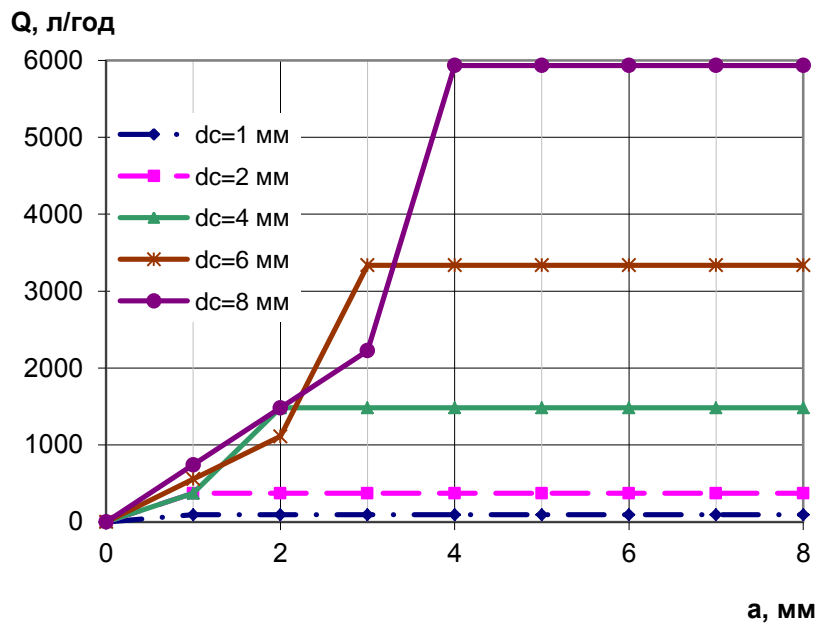


Рис. 2. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

Одночасно зі зменшенням продуктивності змішувача при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення. При  $a > d_c / 2$  швидкість струменя перед зіткненням  $v_1$  (приймали рівною швидкості струменя при виході з форсунки). При  $a < d_c / 2$  швидкість потоку рідини до зіткнення  $v_3$  буде менше за  $v_1$  при незмінному значенні надлишкового тиску.

$$v_3 < v_1 \quad (6)$$

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку

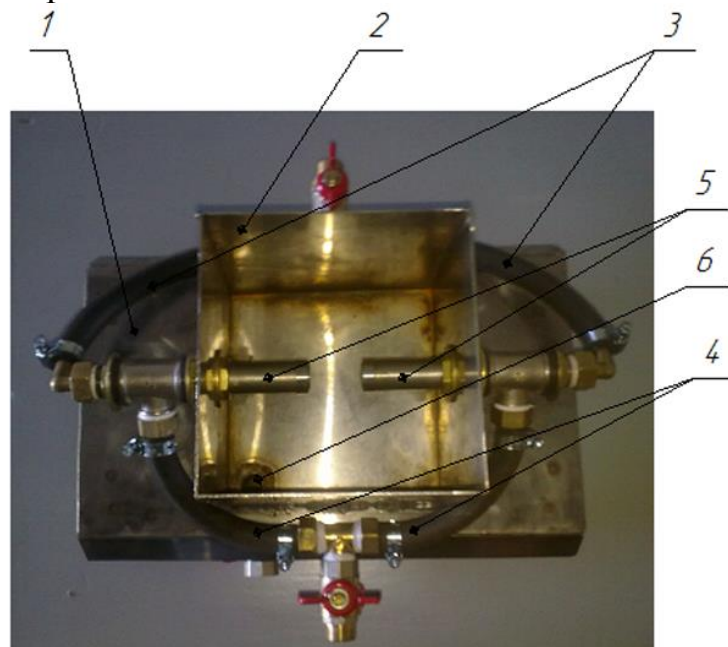
$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3. \quad (7)$$

Після перетворень:

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \quad (8)$$

При умові  $a < d_c / 2$  отримаємо нерівність (6), з чого витікає зменшення якості змішування, адже саме швидкість зіткнення струменів визначає ефективність перемішування компонентів.

Для проведення експериментальних досліджень процесу змішування води з концентратом на основі підсолонувачів було розроблено і виготовлено експериментальний пристрій, конструктивні особливості якого захищені патентом України на корисну модель [8]. Загальний вид пристрою показано на рисунку 4. На станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компонента 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компонента 4 подається концентрат при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.



1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – патрубки подачі основного компонента; 4 – патрубки подачі підмішуваного компонента; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Рис. 3. Лабораторний пристрій для дослідження процесу змішування.

Методика проведення експериментальних досліджень детально описана у попередній роботі [9]. Діаметр сопел форсунок 8 мм. Відстань між соплами форсунок змінювали осьовим переміщенням форсунок в напрямних втулках. Тиск подачі води змінювали за допомогою вихрового насосу (виробник KENLE,  $H_{\max}=50\text{м}$ ,  $Q_{\max}=50\text{л/хв}$ ), контроль тиску подачі води в змішувач здійснювали за допомогою манометру (виробник CONTROLPROCESS, межі вимірювання – до 6 атм). Час проведення кожного дослідження визначали



за секундоміром. Об'єм змішаного продукту визначали за допомогою мірних ємностей (2 класу точності ISO 1042-83).

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

Відстань між соплами форсунок, а, мм	Продуктивність змішувача, Q, л/год		
	P=1,2 атм	P=1,5 атм	P=1,8 атм
8	300	321.54	337.29
16	300	322.14	340.02
24	300	323.01	340.83
32	300	324.69	342.96
40	300	325.20	344.13
48	300	325.20	344.55
56	300	325.20	344.55

За отриманими даними побудовані залежності продуктивності змішувача при різних значеннях тиску рідини на вході у форсунку (рис. 4).

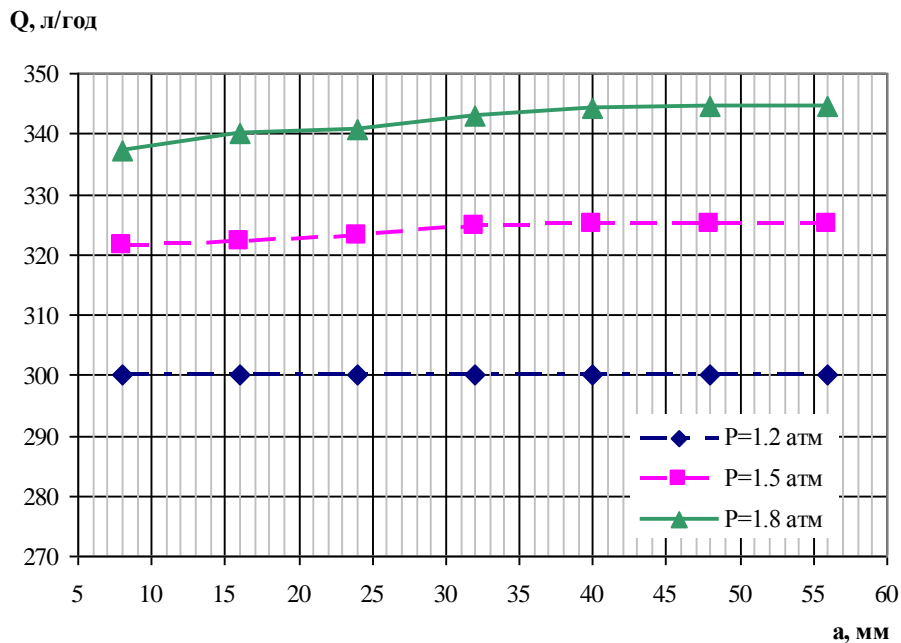


Рис. 4. Залежність продуктивності протитечійно-струминного змішувача від відстані між соплами форсунок.

Аналізуючи отримані залежності можна сказати, що при тиску подачі рідини на вході у форсунку  $P=1,2$  атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від  $a=d_c$  до  $a=5d_c$  об'єм змішаного продукту не змінюється.

Із збільшенням тиску подачі рідини на вході у форсунку залежності набувають іншого характеру. При тиску  $P=1,5$  атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від  $a=d_c$  до  $a=4d_c$  об'єм змішаного продукту збільшується майже прямолінійно. При подальшому збільшенні відстані до  $7d_c$  об'єм продукту лишається незмінним.

При тиску  $P=1,8$  атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від  $a=d_c$  до  $a=6d_c$  об'єм змішаного продукту збільшується. При подальшому збільшенні відстані до  $7d_c$  об'єм продукту лишається незмінним.

За отриманими залежностями можна відзначити, що із зменшенням відстані між форсунками від 48 мм (що дорівнює шістьом діаметрам сопла форсунки  $a=6d_c$ ) до 8 мм (тобто  $a=d_c$ ) продуктивність змішувача зменшується. Це відбувається в наслідок того, що на струмінь рідини, яка витікає із сопла форсунки, діє зустрічний струмінь. Тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, призводить до зменшення величини перепаду тиску всередині та зовні форсунки  $\Delta p$ , що в свою чергу призводить до зменшення швидкості витікання рідини з форсунки.

*Висновки і перспективи подальших досліджень.* В результаті аналітичних досліджень отримана залежність, яка дозволяє визначити мінімальне значення відстані між соплами форсунок для отримання найвищої продуктивності змішувача:  $a_{min} = 0,5d_c$ .

Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача. Із збільшенням відстані продуктивність збільшується. Це відбувається тому, що тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, зменшується, а отже збільшується перепад тиску  $\Delta p$  на вході та виході з форсунки. Збільшення перепаду тиску також призводить до підвищення швидкості струменів у момент зіткнення, що, у свою чергу призводить до підвищення якості перемішування компонентів. Отримані результати можуть бути використані при побудові аналітичної моделі протитечійно-струминних змішувачів, гомогенізаторів та інших гідравлічних апаратів.

#### Література:

1. *Самойчук К. О., Полудненко О. В.* Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 1. С. 205-211.

2. *Самойчук К. О., Полудненко О. В.* Аналіз обладнання для перемішування рідких компонентів // Праці Таврійського державного

агротехнологічного університету. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 6. С. 226-233.

3. *Самойчук, К. О., Полудненко О. В.* Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. Ставрополь: АГРУС, 2013. С. 86-92.

4. *Циб В. Г., Полудненко О. В.* Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2014. Вип. 14, т. 1. С. 7-12.

5. Experimental investigations of sugar concentration for counterflow jet mixing of drinks / *K. Samoichuk end et.* // Technology audit and production reserves. 2017. Т. 2, № 3. С. 41-46.

6. *Котоусов Л. С.* Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией // Журнал технической физики. 2005. Т. 75, вып. 9. С. 8-14.

7. *Самойчук К. О.* Вплив відстані між соплами форсунок на параметри протитечійно-струменевого гомогенізатора молока // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2006. Вип. 44. С. 49-53.

8. Пат. 91740 Україна. МКИ<sup>5</sup> А01J 11/00. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів. № u201402154 ; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.

## **ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СОПЛАМИ ФОРСУНОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИВОТОЧНО-СТРУЙНОГО СМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ**

Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., Вьюник О. В.

**Аннотация** – в статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований. Представлена зависимость расстояния между соплами форсунок от диаметра сопла из условия получения наивысшей производительности смесителя, определённая аналитическим методом. Представлен общий вид устройства для экспериментальных исследований процесса смешивания жидкостей. По результатам аналитических и экспериментальных исследований построены зависимости производительности смесителя от расстояния между соплами форсунок при разных значениях давления подачи жидкости.

## THE INFLUENCE OF THE DISTANCE BETWEEN NOZZLE'S ORIFICES ON THE OF THE CHARACTERISTICS COUNTER-JET MIXER

K. Samoichuk, V. Yalpachyk, O. Viunyk

### *Summary*

Today, the soft drinks are in great demand. At their manufacture one of the main processes is mixing of the blended syrup or concentrate with prepared water, namely mixing liquids. Therefore, the development and introduction into production of mixers, which will provide high-quality mixing at a minimum consumption of energy and time is relevant. As a result of analysis of different methods of mixing fluids counter-jet mixing was highlighted as the most promising. The article is devoted to the analytical and experimental determination of the dependence on the performance of the mixer from the distance between nozzle's orifice, which is necessary for the creation of an analytical model of counter-jet mixer of liquids. Analytical studies were carried out based on the classical hydrodynamic's dependencies. For conducting experimental research of the process counter-jet mixing were designed and manufactured an experimental device, which is a pair of coaxially installed jet ejectors which provides a collision of fluid jets. In the jet ejectors the liquid and the mixing component are mixing in a certain ratio. As a result of analytical studies, a dependence is obtained that allows to determine the minimum value of the distance between nozzle's orifices, to receive highest mixer performance. The dependencies of the mixer's performance from the distance between for diameters 1-8 mm was constructed. The influence of the distance between nozzle's orifices on the performance of the counter-jet mixer is determined experimentally. With increasing distance performance increases. This is because of the pressure that occurs in the area of the collision of the jets decreases, and consequently increases the differential pressure at the inlet and outlet nozzle. An increase in the pressure drop also leads to an increase of the speed of jets at the moment of the collision, which in turn leads to improving the quality of mixing components. The obtained results can be used in constructing an analytical one models of counter-current-jet mixers, homogenizers and others hydraulic machines.

УДК 637.134.001.57

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-12-17

## ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА В МОЛОЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Самойчук К. О., д. т. н.,  
Паляничка Н. О., к. т. н.,  
Циб В. Г., ст. викл.,  
Антонова Г. В., ст. викл.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена проблемі зниження енергозатрат на процес гомогенізації молока, шляхом використання нових енергозберігаючих пристроїв. Наведені результати практичних досліджень використання імпульсного гомогенізатора молока в молочній промисловості для виробництва питного пастеризованого молока.

**Ключові слова** – гомогенізація, молоко, виробництво, імпульсний гомогенізатор, клапанний гомогенізатор, енергозатрати.

*Постановка проблеми.* Процес гомогенізації є одним із основних і невід’ємних технологічних процесів в технологічній лінії виробництва молока та молочної продукції [1]. Після гомогенізації значно поліпшуються смакові та сенсорні якості молока, підвищується стійкість при зберіганні та транспортуванні, відсутні залишки жиру на стінках тари при виливанні молока. Якість продуктів з використанням гомогенізованого молока набагато вища. Однак, поряд з цим, гомогенізація є одним з найбільш енерговитратних процесів, оскільки найбільш розповсюдженими гомогенізаторами, які використовують в молочній промисловості є – клапанні гомогенізатори. Питоме енергоспоживання даного типу гомогенізаторів – сягає 7–8 кВт·год/т і є найбільшим серед обладнання для механічної обробки молока. Тому на сьогоднішній день досить актуальним питанням є розробка нових, більш ефективних способів гомогенізації або вдосконалення вже існуючих, з метою зменшення енергоємності процесу гомогенізації та збільшення ступеня диспергування молочного жиру.

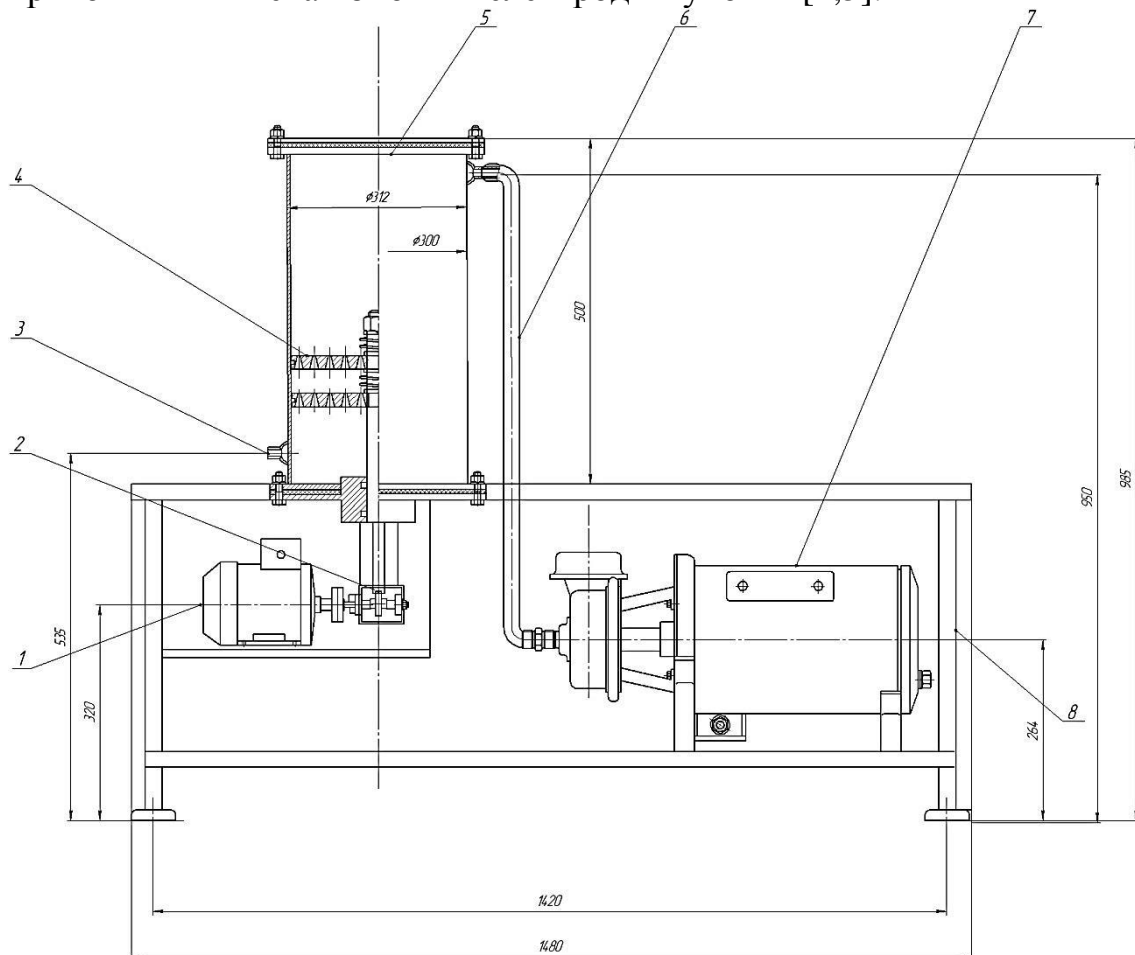
*Аналіз останніх досліджень.* Велика кількість робіт спрямована на зменшення розмірів диспергуємих часток дисперсної фази шляхом удосконалювання існуючого обладнання для гомогенізації [1,2].

Однак, технічні й технологічні рішення по вдосконалюванню гомогенізаторів досягли своєї межі.

Досить перспективним, на нашу думку, є використання в молочній промисловості для гомогенізації молока імпульсного гомогенізатора, який дозволяє отримати ступінь диспергування не нижче клапанних гомогенізаторів зі значно меншими енерговитратами [3].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної роботи є дослідження використання імпульсного гомогенізатора молока в промислових умовах для виробництва питного пастеризованого молока.

*Основна частина.* Імпульсний гомогенізатор представляє собою зварний каркас 8, в нижній частині якого знаходиться ємність для готового продукту 9, а у верхній частині – робоча камера гомогенізатора 3, ємність для сировини 6, під якою змонтований насос 7. Робоча камера являє собою циліндр, в середині якого знаходиться шток з поршнями-ударниками 4, який приводиться в дію кривошипним механізмом 2 і електродвигуном 1 [4,5].

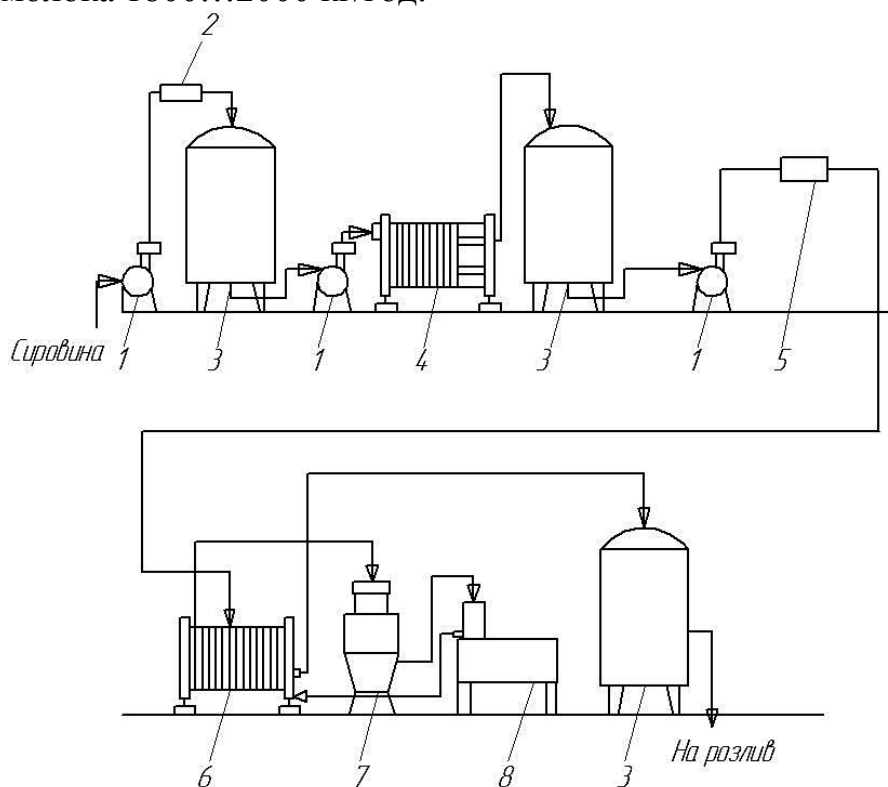


1 – електродвигун; 2 – кривошип; 3 – робоча камера гомогенізатора; 4 – шток з поршнями-ударниками; 5 – трубопровід для подачі молока в камеру; 6 – ємність для сировини; 7 – насос; 8 – зварний каркас; 9 – ємність для готового продукту.

Рис. 1. Промисловий зразок імпульсного гомогенізатора молока.

Дослідження імпульсного гомогенізатора проводилися на приватному підприємстві "Молокозавод-ОЛКОМ" в лінії виробництва питного пастеризованого молока [5].

На рис. 2 представлена схема технологічного процесу виробництва питного молока з використанням імпульсного гомогенізатора. У даному проектованому варіанті технологія виробництва питного молока залишилася не змінною, крім режимів роботи імпульсного гомогенізатора. Рациональною температурою молока для імпульсної гомогенізації є 65...70 °С; частота і амплітуда коливання поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора для питного молока становить відповідно 55...59 Гц та 10...12 мм при подачі молока 1800...2000 кг/год.



1 – насоси для молока; 2 – лічильник молока; 3 – балансні танки для молока; 4 – пластинчаста охолоджувальна установка; 5 – нормалізатор; 6 – пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна установка; 7 – сепаратор-молокоочисник; 8 – імпульсний гомогенізатор.

Рис. 2. Схема технологічного процесу виробництва питного молока з використанням імпульсного гомогенізатора.

Молоко поступає в балансний танк 3, звідки насосом 1 подається в пластинчасту охолоджувальну установку 4, де попередньо охолоджується. Далі насосом 1 охоложене молоко спрямовується на нормалізацію 5, яка відбувається в потоці. Нормалізована суміш подається в пластинчасту пастеризаційно-охолоджувальну установку 6 для підігрівання перед потраплянням в сепаратор-молокоочисник 7.

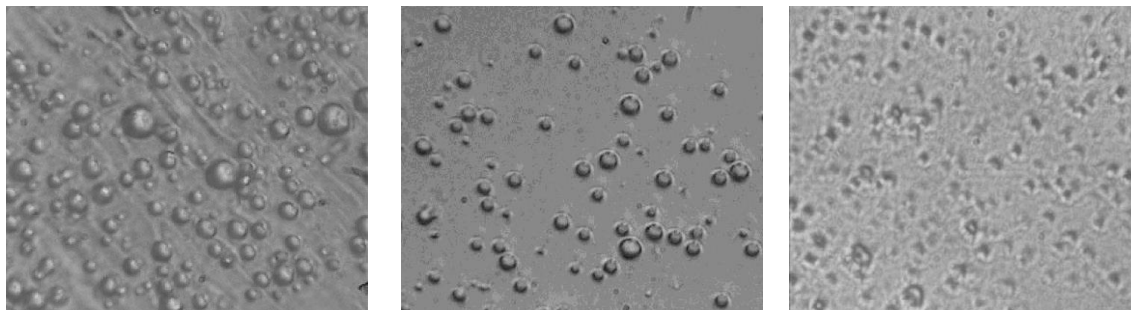
Після очистки проводиться гомогенізація в імпульсному гомогенізаторі 8. Звідси молоко знову подається в пластинчасту пастеризаційно-охолоджувальну установку 6, де молоко спочатку пастеризується, а потім охолоджується та спрямовується на розлив та фасування.

В результаті випробувань імпульсного гомогенізатора було відмічено значне зниження потужності на привід з 18,5 кВт до 2 кВт.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика досліджуваних гомогенізаторів

Технологічні показники	Клапанний, А1-ОГ2М-2,5	Імпульсний гомогенізатор
Продуктивність, л/год	2500	1800
Мінімальний діаметр часток молочного жиру після гомогенізації, мкм	0,8	0,8
Потужність, кВт	18,5	2
Маса, кг	1350	155

На рис. 3 показані мікрофотографії проб молока після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в порівнянні з клапанною гомогенізацією.



а)

б)

в)

а) необроблене молоко; б) після клапанної гомогенізації при  $\Delta p=16$  МПа; в) після імпульсної гомогенізації при  $p = 1,5$  МПа.

Рис. 3. Мікрофотографії проб молока (збільшення у 400 разів).

До гомогенізації молоко характеризувалося наступними параметрами: середній діаметр жирових кульок  $d_{сер} = 2,48$  мкм, дисперсія  $\sigma = 1,66$ , коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього)  $V = 67\%$ . Після клапанної гомогенізації і відповідно імпульсної гомогенізації ці показники становили:  $d_{сер} = 0,98$  мкм та  $0,80$  мкм,  $\sigma = 0,50$  та  $0,46$ ,  $V = 51$  та  $56\%$ .

Проведені дослідження показали, що середній діаметр жирових кульок при обробці імпульсним гомогенізатором зменшився на 19 % у



порівнянні з клапанним, також зменшилося значення дисперсії, що в свою чергу свідчить про те, що обрані параметри і режими імпульсної гомогенізації забезпечують стабільність жирової фази молока після гомогенізації.

Готове пастеризоване молоко, яке було вироблене з використанням імпульсного гомогенізатора було направлено на експертизу до лабораторії. Висновок випробувальної лабораторії харчової продукції продовольчої сировини та будівельних матеріалів Мелітопольської філії випробувального центру "ЗАПОРІЖЖЯСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ" свідчить про відповідність питного пастеризованого молока, що пройшло гомогенізацію в імпульсному гомогенізаторі, вимогам ДСТУ 2661-94, які затверджені і введені в дію наказом Держстандарту України № 79 від 02.08.1999 р.

*Висновки.* Результати проведених практичних досліджень імпульсного гомогенізатора на молочному підприємстві в лінії питного пастеризованого молока свідчать про доцільність застосування імпульсного гомогенізатора молока у виробництві.

#### Література:

1. *Нужин Е. В., Гладушняк А. К.* Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
2. *Паляничка Н. О., Вершков О. О., Антонова Г. В.* Аналіз новітніх пристроїв для гомогенізації молока // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 3. С. 194-199.
3. *Гвоздєв О. В., Паляничка Н. О., Ляшок І. В.* Проектування імпульсного гомогенізатора молока // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 5. С. 85–92.
4. *Паляничка Н. О., Гвоздєв О. В.* Експериментальне обґрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока // Збірник наукових праць Одеської національної академії харчових технологій. Одеса, 2011. Вип. 39, т. 2. С. 177-181.
5. *Паляничка Н. О.* Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. Донецьк, 2013. 194 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Самойчук К. О., Паляничка Н. А., Цыб В. Г., Антонова Г. В.

*Аннотация* – стаття посвящена проблеме снижения энергопотребления на процесс гомогенизации молока путем использования новых энергосберегающих устройств. Приведены

**результаты практических исследований использования импульсного гомогенизатора в молочной промышленности для производства питьевого пастеризованного молока.**

## **THE USING OF IMPULSIVE HOMOGENIZER IN A DAIRY INDUSTRY**

**K. Samoichuk, N. Palyanichka, V. Tsyb, G. Antonova**

### *Summary*

**The article is devoted to one of the main and inevitable technological processes in the technological line of milk and milk products production - the process of homogenization. After homogenization, the taste and sensory qualities of milk significantly improve, while maintaining storage and transportation stability. However, along with this homogenization is one of the most energy-consuming processes, since the most common homogenizers used in the dairy industry are - valve homogenizers. Specific energy consumption of this type of homogenizer - reaches 7-8 kWh / t. Therefore, to date, a very topical issue is the development of new, more effective ways of homogenizing or improving already existing, in order to reduce the energy intensity of the process of homogenization and increase the degree of dispersion of milk fat.**

**It is quite promising to use impulsive homogenizer of milk in the dairy industry, which allows obtaining a degree of dispersion of not less than valve homogenizers with significantly lower energy consumption.**

**A practical test of impulsive homogenizer was carried out at the factory, during which a significant reduction in power for a homogenizer drive from 18.5 kW to 2 kW was noted. Studies also showed that the average diameter of the fatty balls when treated with impulsive homogenizer decreased by 19% compared to the valve, and also decreased the value of the dispersion, which in turn indicates that the chosen parameters and modes of impulsive homogenization ensure the stability of the fat phase of the milk after homogenization.**

**Consequently, the results of the practical research of impulsive homogenizer in a dairy enterprise in the line of drinking pasteurized milk indicate the expediency of using impulsive milk homogenizer in the production.**

УДК 637.524

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-18-24

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПІДСУШУВАННЯ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

Петриченко С. В., к. т. н.,

Олексієнко В. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – в статті наведено результати аналізу процесів термічної обробки ковбасних виробів та теоретичні передумови визначення тривалості процесу підсушування варених ковбас з метою забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах енергоносіїв.

**Ключові слова** – ковбасні вироби, термічна обробка, підсушування, тривалість, температуропровідність, фронт збурення.

*Постановка проблеми.* Традиційна технологія виробництва варених ковбасних виробів передбачає проведення термічної обробки в три стадії: підсушування, обсмажування і варіння, що розрізняються режимами середовища, що гріє.

Перша стадія (підсушування) полягає в прогріванні (головним чином поверхні) об'єкта в середовищі з низькою відносною вологістю (до 10 %). При підсушуванні з поверхні ковбасної оболонки віддається волога змочування, що сприяє рівномірному прокрашуванню поверхні і дифузії в продукт коптільних речовин при подальшому обсмажуванні. Підсушування вважається закінченим, якщо температура поверхні продукту досягне 50 °С. Втрати маси під час підсушування складають 0,5 ... 1,8 %. Тривалість підсушування коливається від 3 до 30 хвилин.

Друга стадія (обсмажування) зводиться до обробки ковбасних виробів димоповітряною сумішшю при температурі середовища 100 °С, відносної вологості 20 % і швидкості руху 2 м/с. При обсмажуванні зміцнюються оболонка і поверхневий шар фаршу; поверхня батона забарвлюється в буро-червоний колір із золотистим відтінком. Фарш прогрівається і набуває специфічний запах і присмак підкопченого продукту. Вологість димоповітряної суміші повинна бути такою щоб виключалася можливість конденсації водяної пари на поверхні батона. З огляду на те, що при обсмажуванні температура поверхні ковбасного батона зростає, можна вважати, що мінімальна

допустима вологість відповідає початку, а максимальна - закінчення процесу. Обсмажування закінчується, коли температура в центрі батона сягає 40 ... 50 °С.

Третя стадія (варіння) полягає в обробці продукту пароповітряним середовищем з температурою 85 °С і відносною вологістю близько 90%; швидкість середовища 1-2 м/с; тривалість визначається досягненням в центрі батона температури 68 ... 72 °С.

При варінні ковбас температура поверхні батона повинна дорівнювати або бути трохи нижче температури пароповітряного середовища, яка вимірюється по мокрому термометру. У процесі варіння необхідно створити умови, що виключають випаровування вологи з поверхні. Парціальний тиск водяної пари в пароповітряному середовищі при температурі 80 ... 85 °С має бути більше тиску насичення у поверхні батона.

Всі три процеси термічної обробки полягають у перерозподілі теплоти, що підводиться продукту від середовища, що гріє. При цьому перенесення маси і енергії відбувається внаслідок теплового руху мікрочастинок. Перенесення маси здійснюється за рахунок процесів дифузії. При дифузії в результаті теплового руху частинок речовини відбувається взаємне проникнення частинок дотичних тіл. Дифузія, в кінцевому рахунку, призводить до вирівнювання концентрації.

*Аналіз останніх досліджень.* М'ясопродукти відносяться до об'єктів з досить складною структурою. Тому враховувати її при розрахунку процесів поширення теплоти і речовини важко і практично навряд чи доцільно. При розгляді цих процесів ми будемо керуватися такими загальними міркуваннями:

1. М'ясопродукти розглядаються як суцільне середовище. Властивості м'ясопродуктів проводити теплоту і речовину визначаються транспортними коефіцієнтами: коефіцієнтом теплопровідності і коефіцієнтом дифузії. Значення цих коефіцієнтів, які є функцією складу і структури речовини, інтегрально відображають індивідуальні властивості м'ясопродуктів.

2. Швидкість поширення теплоти м'ясопродуктів відносно низька. Ця обставина дозволяє розглядати процес поширення енергії речовин м'ясопродуктів за наступною схемою: продукт як би складається з двох областей збуреної і незбуреної. Під збуреною областю ми будемо розуміти ту частину об'єкта, в якій за рахунок взаємодії із зовнішнім середовищем почалася зміна параметрів. Наприклад, якщо об'єкт помістити в середу, температура якої відмінна від його усталеною температури, то внаслідок теплообміну температура в об'єкті почне змінюватися. Однак в початковий момент часу температура змінюється не у всіх точках об'єкта - спочатку в

периферійних точках об'єкта і лише потім буде поступово (з кінцевою швидкістю) поширюватися і до центру.

3. Між збуреною і незбуреною областями існує межа розділу - "фронт збурення". У процесах поширення теплоти ми будемо називати його "температурним фронтом", а при вивченні процесів поширення речовини - "фронтом концентрації". Зокрема в процесах поширення теплоти "температурний фронт" - лінія, що відокремлює область об'єкта, в якій температура почала змінюватися, від області, де температура мінятися не починала.

4. Процес поширення теплоти і речовини в тілі відбувається в дві стадії. Перша стадія охоплює проміжок часу від початку процесу до моменту досягнення "фронтом збурення" геометричного центру тіла; друга стадія починається з моменту, коли "фронт збурення" досягає геометричного центру, і триває до закінчення процесу. Теоретично тривалість другої стадії нескінченна [5].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Теплова обробка в м'ясній промисловості є основним технологічним процесом при виробництві м'ясопродуктів. Її організація суттєво впливає на якість, вихід, а отже, собівартість готової продукції. У нормативній документації зазначені умови і режими теплової обробки традиційних м'ясних виробів. Однак, при розробці нових продуктів, їх технології і рецептур, а також при зміні обладнання необхідно враховувати зміни, що відбуваються, пов'язані з тепло-, масопереносом.

На деяких підприємствах режими теплового оброблення для конкретного виду ковбасних виробів підбирають експериментальним шляхом. Однак, такі роботи не носять системного характеру та не мають наукового підґрунтя. У зв'язку з цим доцільно теоретично обґрунтувати та розробити практичні рекомендації для оптимізації режимів термообробки м'ясопродуктів.

*Основна частина.* Перенесення теплової енергії при термічній обробці відбувається внаслідок теплопровідності. Теплота переноситься від більш нагрітих до менш нагрітих частин тіла. Процес перенесення енергії і маси можливий лише при наявності рушійної сили, тобто при відхиленні системи від стану рівноваги. Основний закон теплопровідності - закон Фур'є, який встановлює пряму пропорційну залежність між щільністю теплового потоку (наслідок) і градієнтом температури (причина або рушійна сила) і має наступний вигляд

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t, \quad (1)$$

де  $q$  – щільність теплового потоку по нормалі, проведеної в напрямку зменшення температури, до ізотермічної поверхні, Вт/м;

$\lambda$  – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом теплопровідності, Вт/(м·К);

$\text{grad } t$  – градієнт температури, що характеризує зміну температури  $t$ , що припадає на одиницю відстані між ізотермічними поверхнями по нормалі в напрямку зменшення температури, К / м.

Вираз (1) пов'язує щільність теплового потоку з температурним полем, що дозволяє звести рішення задачі про розподіл теплоти в тілі до дослідження зміни температурного поля в часі [6].

Коефіцієнт теплопровідності - один з найважливіших теплофізичних параметрів різних тіл. Він чисельно дорівнює щільності теплового потоку при  $\text{grad } t = 1$ . Значення коефіцієнта теплопровідності змінюється в широких межах.

При встановленні тривалості теплової обробки (підсушування) ковбасних виробів в першу чергу необхідно знайти значення тепловіддачі від середовища, що гріє, до ковбасних батонів. Згідно з даними А. І. Пелєєва [3], значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) при термічній обробці ковбасних виробів можна визначити за виразом

$$\alpha = \alpha_c \cdot (1 + 1,9 \cdot d), \quad (2)$$

де  $\alpha_c$  – коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води або повітряного середовища, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$d$  – вологовміст продукту (при підсушуванні, де температура середовища ( $t_{\text{сер}} = 100$  °С) і відносна вологість повітря ( $\varphi = 10$  %)  $d = 76$  г/кг = 0,076 кг/кг). Значення  $\alpha_c$ , Вт / (м<sup>2</sup>·К) можна визначити за відомими критеріальними залежностями конвективного теплообміну або за емпіричною формулою Юргеса [3]

$$\alpha_c = 6,16 + 4,19 \cdot W, \quad (3)$$

де  $W$  – швидкість руху середовища, м/с ( $W = 2$  м/с).

Як було сказано вище, на стадії підсушування збільшення радіусу ковбасного батона незначно (до 0,3 %), тому їм можна знехтувати і прийняти емпіричний коефіцієнт розширення продукту ( $RI = 1$ ), отже

$$R_{\text{під}} = R_0, \quad (4)$$

де  $R_{\text{під}}$  – радіус батона на стадії підсушування, м;

$R_0$  – радіус батона перед початком підсушування. м;

Визначаємо значення критерію Біо – безрозмірного коефіцієнта, який характеризує інтенсивність теплообміну між

поверхнею тіла і навколишнім середовищем, і який можна розглядати як відношення термічного опору тіла до термічного опору теплообміну між навколишнім середовищем і поверхнею тіла. Фізичний сенс критерію Біо полягає в тому, що він характеризує відношення інтенсивностей підведення теплоти в процесі тепловіддачі і відведення теплоти до внутрішніх шарів тіла в результаті процесу теплопровідності.

$$Bi_{\text{під}} = (\alpha/\lambda) \cdot R_{\text{під}}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності (для варених ковбас  $\lambda = 0,465$  Вт/(м·К)).

Тривалість поширення температурного фронту з критерієм Фур'є,  $Fo^{(1)}$ , який характеризує тривалість термічної обробки знаходимо за формулою

$$Fo^{(1)} \approx 0,7 \cdot [1/12 + 1/(3Bi_{\text{під}}) - 2/(3Bi_{\text{під}}^2)] \cdot \ln(1 + 0,5 Bi_{\text{під}}), \quad (6)$$

де  $Fo^{(1)}$  – час проходження температурного фронту.

Значення критерію Фур'є ( $Fo_{\text{під}}$ ) відповідного часу, протягом якого для підсушування температура в центрі ковбасного батона ( $t_{\text{центр}}$ ) досягає необхідного значення, визначається за формулою

$$Fo_{\text{під}} = [(Bi_{\text{під}} + 4)/(8Bi_{\text{під}})] \cdot \ln [2/((Bi_{\text{під}} + 2) \cdot (1 - T_{\text{під}}))] + Fo^{(1)}, \quad (7)$$

де  $Fo_{\text{під}}$  – тривалість підсушування в безрозмірному вираженні;

$T_{\text{під}}$  – безрозмірне значення температури поверхні продукту у процесі підсушування, яке виражається залежністю

$$T_{\text{під}} = (t_{\text{під}} - t_0)/(t_{\text{сер}} - t_0), \quad (8)$$

де  $t_{\text{під}}$  – температура поверхні ковбасного батона в кінці процесу підсушування, °С;

$t_0$  – початкова температура ковбасного батона, °С;

$t_{\text{сер}}$  – температура середовища, °С.

При розрахунку розмірного часу у вираз, що визначає  $Fo_{\text{під}}$ , обчислений на підставі формули (7) зазначеної вище, вводяться експериментальні поправки згідно зі зміною радіуса ковбасного батона на стадії підсушування

$$\tau_{\text{під}} = Fo_{\text{під}} \cdot (R_{\text{під}})^2/a, \quad (9)$$

де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності (для варених ковбас  $a = 0,0005$  м/год).

На початку процесу термічної обробки ковбасних виробів, відбувається випаровування вологи, що конденсується на поверхні батонів (в початковий період підсушування), коли температура поверхні батона нижче, ніж температура «точки роси» середовища. Обробка результатів експериментів дозволила отримати наступне емпіричне вираження для кількісної оцінки часу видалення конденсату

$$\tau_{\text{кон}} = (2 - 0,46 \cdot V_{\text{під}}) \cdot (21T_{\text{п}} - 8), \quad (10)$$

де  $\tau_{\text{кон}}$  – час видалення конденсату при підсушуванні, хв.

Таким чином загальна тривалість процесу визначається як сума часу підсушування та конденсації

$$\tau_{\text{під}\Sigma} = \tau_{\text{під}} + \tau_{\text{кон}} \quad (11)$$

*Висновки.* Отримані залежності дозволяють з достатнім ступенем вірогідності розрахувати необхідну тривалість підсушування ковбасних виробів при розробці нових продуктів, їх технології і рецептур, а також при зміні обладнання, що дозволить проводити корегування технологічних режимів термічної обробки з метою забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах енергоносіїв.

Література:

1. Моделирование производственных процессов мясной и молочной промышленности / Ю. А. Ивашкин и др. Москва: Агропромиздат, 1987. 256 с.

2. Блаж И. Д. Экономико-математическое моделирование в пищевой промышленности. Москва: Агропромиздат, 1986. 288 с.

3. Бражников А. М., Карпычев В. А., Пелеев А. И. Аналитические методы исследования процессов термической обработки мясопродуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 232 с.

4. Маркин Ю. П. Математические методы планирования и управления в мясной и молочной промышленности. Москва: Пищевая промышленность, 1972. 288 с.

5. Аслаев М. П., Карнилов Ю. Г. Моделирование процессов пищевых производств. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 177 с.

6. Петриченко С. В., Лобода О. І. Особливості мікропроцесорної системи контролю і управління технологічним процесом термообробки варених ковбас // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 2011. Вип. 1, т. 1. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf1t1/11psvtcp.pdf> (дата звернення: 13.10.2018).



7. Поперечний А. М., Потапов В. О., Корнійчук В. Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 312 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОДСУШКИ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Петриченко С. В., Алексеенко В. А.

*Аннотация* – в статье приведены результаты анализа процессов термической обработки колбасных изделий и теоретические предпосылки определения продолжительности процесса подсушки вареных колбас с целью обеспечения высокого качества продукции при минимальных затратах энергоносителей.

## **DETERMINATION OF THE DELAY DURATION SAUSAGE PRODUCTS**

S. Petrychenko, V. Oleksienko

### *Summary*

The traditional technology provides for the heat treatment of cooked sausages in three stages: drying, roasting and cooking, which differ in the modes of the heating medium. All three processes of heat treatment consist in the redistribution of heat supplied to the product from the heating medium. Meat products are objects with a rather complex structure. Therefore, to take it into account when calculating the processes of distribution of heat and matter is difficult and practically hardly expedient.

During heat treatment of meat products, the transfer of mass and energy occurs due to the thermal motion of the micro particles. Mass transfer is carried out through diffusion processes. During diffusion, as a result of the thermal motion of particles of a substance, the mutual penetration of particles of the contacting bodies occurs. Diffusion ultimately leads to a leveling out of concentration.

The transfer of heat energy occurs due to heat conduction. Heat is transferred from warmer to less heated parts of the body. The process of energy and mass transfer is possible only in the presence of a driving force, i.e. when the system deviates from the equilibrium state.

The article presents the results of the analysis of the processes of heat treatment of sausages and theoretical prerequisites for determining the duration of the process of drying cooked sausages in order to ensure high quality products with minimal energy costs.

The results obtained can be used both in the educational process and in scientific research.

УДК 664:621.651

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-25-34

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОРІЗНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЙОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ УЩІЛЬНЮВАЧА ПЛУНЖЕРА ГІДРОМУЛЬТИПЛІКАТОРА ДВОСТОРОННЬОЇ ДІЇ

Погребняк А. В., д. т. н.,  
Пархоменко Р. О., магістр  
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені  
Михайла Туган-Барановського  
Тел.( 050) 607-70-18

**Анотація** – у статті наведено результати аналізу технічних рішень в області розробки ущільнень плунжера гідромультиплікатора водорізного обладнання. Визначені шляхи подолання недоліків водорізного обладнання та розроблено нову конструкцію ущільнювача, так як існуючі типи ущільнень не відповідають вимогам, які висуваються до обладнання для водорізання харчових продуктів. Розроблено нові конструкції ущільнень з високими техніко-економічними показниками та ресурсом роботи.

**Ключові слова** – гідромультиплікатор, ущільнення, тиск, плунжер, продукти.

*Постановка проблеми.* Різання, як один з технологічних процесів обробки харчових продуктів, широко застосовується в різних галузях промисловості: харчовій, рибній, м'ясній, комбікормовій та ін.

Для різання харчових продуктів використовують різноманітні засоби та обладнання. Однак, при використанні цих засобів та обладнання виникають значні труднощі при різанні твердих (заморожених) харчових продуктів.

Альтернативним способом обробки є процес водорізання, що виключає існуючі недоліки.

Водорізання використовується в різних галузях промисловості, окрім харчової. З використанням методу водорізання в харчовій промисловості можливо буде досягнути значних переваг перед вже існуючими засобами для різання твердих харчових продуктів: знизити втрати продукту через малу ширину різа (до  $0,8 \cdot 10^{-3}$  м); підвищити ступінь санітарної безпеки та якість поверхні розділення; різати в будь-яких напрямках; знизити час простою на технічне

обслуговування; різати тверді харчові продукти при всіх практично важливих температурах, навіть до температури рідкого азоту.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз існуючих літературних джерел показує, що існуюче обладнання для різання харчових продуктів металоємне, дороге, ненадійне в роботі, або має значні труднощі при різанні твердих харчових продуктів.

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день є велике різноманіття обладнання для водорізання. Однак, це обладнання не може бути використане і не передбачене для різання харчових продуктів, внаслідок своїх конструктивних особливостей і наявних недоліків. Тому необхідна розробка нової конструкції обладнання для водорізання твердих харчових продуктів.

Аналіз технічних рішень в області розробки ущільнень плунжера гідромультіплікатора водорізного обладнання показав, що існуючі типи ущільнень не відповідають вимогам, які висувуються до обладнання для водорізання харчових продуктів. У зв'язку з цим з'являється необхідність розробки нових конструкцій ущільнень плунжера.

У розробці та проектуванні циліндрів високого тиску гідромультіплікаторів водорізного обладнання одним з основних вузлів є вузол ущільнення плунжера, через який вводять у циліндр високого тиску деталі, що рухаються.

Теперішнього часу техніка ущільнення елементів гідросистем, які здійснюють зворотньо-поступальні, обертальні та інші види руху, досить добре відпрацьована [1, 2]. Існує велика кількість різних типів ущільнювачів, що працюють у широкому діапазоні тисків і з рідинами різного походження.

У загальному випадку під ущільнювачем мається на увазі пристрій, який виключає або обмежує проникнення рідин, газів або твердих часток (наприклад, атмосферного пилу) через рухомі або нерухомі з'єднання деталей, що не становлять єдиного цілого. Усі існуючі різновиди ущільнювачів можна розділити на дві групи [3]: із природним ущільненням і ущільнювачі з набиванням.

Більшість ущільнювачів, що використовуються за високих тисків, є комбінованими, де остаточне ущільнення типу «метал-метал» сполучається з початковим ущільненням прокладками з м'яких матеріалів типу еластомірів.

Підставою для вибору типу ущільнювачів служать вимоги, запропоновані до конкретної конструкції гідромультіплікатора:

- забезпечення необхідної герметичності під час тривалого терміну експлуатації;
- відсутність великих сил тертя та зношування рухомих деталей;

- забезпечення працездатності в широкому температурному діапазоні та за можливих перепадів тиску;
- невеликі габарити, а також дешевизна та простота виготовлення й експлуатації;
- надійність та довговічність.

До ущільнювальних пристроїв циліндрів високого тиску гідромультіплікаторів водорізного обладнання, яке використовується для різання харчових продуктів, ставляться додаткові вимоги – це екологічна безпека.

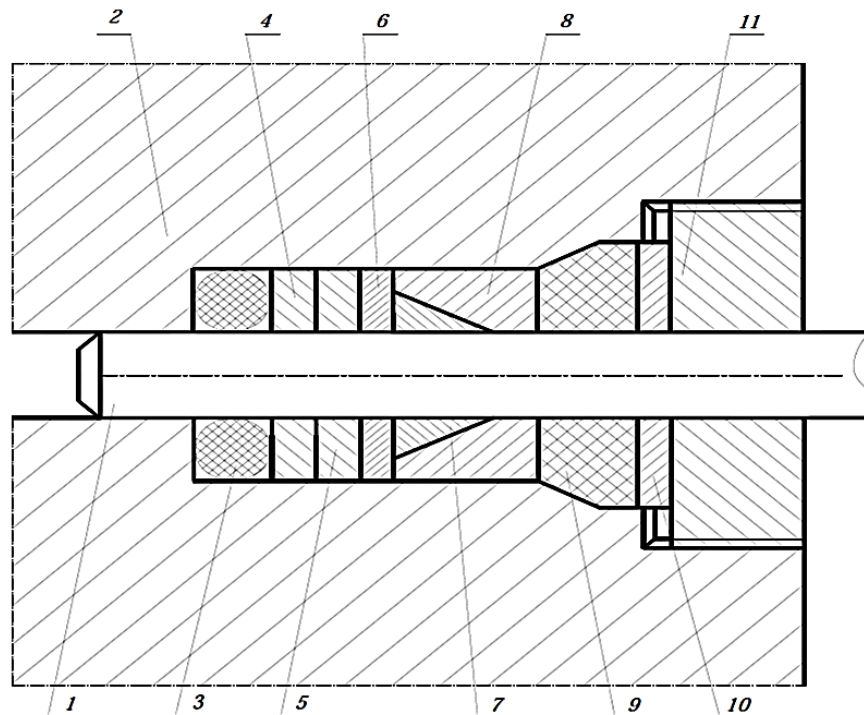
Найпоширенішими в конструкціях гідромультіплікаторів високого тиску є ущільнювачі, виконані з попередньою напругою ущільнюючого елемента, або ущільнення з некомпенсованою площею.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Розробити нові конструкції ущільнень з високими техніко-економічними показниками та ресурсом роботи для обладнання водорізання твердих харчових продуктів, а також проведення їх експериментальних випробувань з метою підтвердження ефективності роботи запропонованих конструкцій ущільнювачів плунжера гідромультіплікатора та доцільність їхнього використання.

*Основна частина.* Випробування та наступна експлуатація водорізного обладнання, виконаного на базі гідромультіплікатора, оснащеного ущільнювачем високого тиску, що працює за принципом некомпенсованої площі, показали, що воно може ефективно експлуатуватися за тиску до 160 МПа й частоти перемикавання до 200 разів за хвилину. За таких режимів ресурс роботи ущільнювача становить 550 год. Спроби форсувати режими роботи призвели до різкого зниження ресурсу та необхідності частого розбирання гідромультіплікаторів з метою заміни ущільнювальних елементів, що вийшли з ладу. Це пояснюється тим, що в контактних ущільнювачах, які працюють за принципом некомпенсованої площі, розвивається напруга, що значно перевищує робочий тиск, унаслідок чого легко перевищується межа текучості матеріалів ущільнювальних елементів [4]. Це порушує роботу ущільнювачів. Такі ущільнювачі забезпечують гарну герметизацію циліндра високого тиску, однак термін їхньої служби невеликий.

Метою статті є опис створених конструкцій ущільнювача, що задовольняє перераховані вище вимоги та ефективно працює в широкому діапазоні робочих тисків (від 1 до 500 МПа).

З метою створення конструкції ущільнювача плунжера гідромультіплікатора, який здійснює зворотно-поступальні рухи з високим ресурсом роботи за підвищених режимів (тиск до 500 МПа) та який відповідає перерахованим вище вимогам, було розроблено та виготовлено дві конструкції ущільнювачів, які наведені на рисунках 1 і 2.



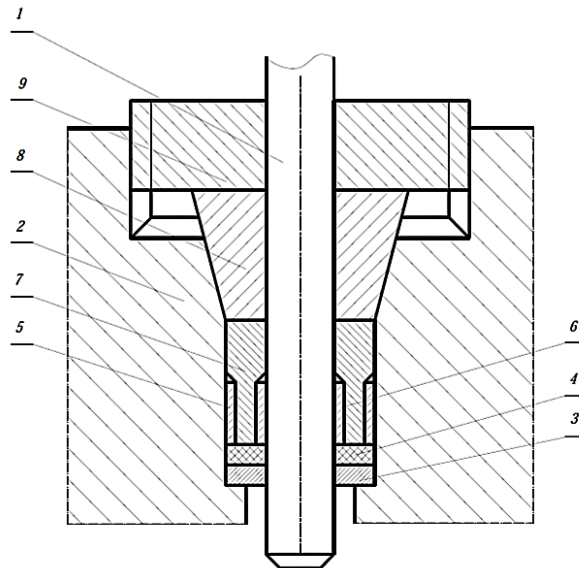
1 – плунжер гідравлічної машини; 2 – металевий циліндр; 3 – ущільнювальне О-подібне кільце з гуми; 4, 5 – мідні ущільнювальні кільця; 6 – ущільнювальне кільце фторопласту; 7 – конусоподібне ущільнювальне кільце тефлону; 8 – металева втулка; 9 – гумова прокладка; 10 – металеве нажимне кільце; 11 – гайка.

Рис. 1. Конструкція ущільнювача 1.

Конструкція ущільнювача, яка зображена на рисунку 1, наведена у варіанті ущільнення плунжера 1 гідравлічної машини і містить металевий циліндр 2, усередині нього встановлено ущільнювальне О-подібне кільце з гуми 3, на зовнішній поверхні якого встановлено один на одному два мідних ущільнювальних кільця 4, 5, усередині них проходить плунжер, що ущільнюється. На зовнішній поверхні ущільнювального мідного кільця 5 встановлено ущільнювальне кільце 6 з фторопласту, на якому встановлено конусоподібне ущільнювальне кільце 7 з тефлону. На похилу зовнішню поверхню тефлонового ущільнювального кільця 7 встановлюється металева втулка для піджиму ущільнювальних кілець до поверхні плунжера 1, тим самим і для герметизації цих поверхонь, як це показано на рисунку 1. Між зовнішньою поверхнею втулки 8 і циліндром 2 встановлено гумову прокладку 9. На зовнішній поверхні гумової прокладки 9 встановлено металеве нажимне кільце 10. Ущільнювальні кільця, що з'єднуються між собою, після збірки піджаті гайкою 11, яка забезпечує внутрішній напружений стан.

Під дією тиску робочої рідини набір ущільнювальних кілець стискає гумове ущільнювальне О-подібне кільце в осьовому

напрямку. При цьому це кільце розширюється в радіальному напрямку та притискається до стінок циліндра, набору ущільнювальних кілець та плунжера. Таким чином, відбувається герметизація.



1 – плунжер гідромультіплікатора; 2 – корпус з металевого, металокерамічного або керамічного матеріалу; 3 – ущільнювальне кільце з берилієвої бронзи; 4 – ущільнювальне тефлонове кільце; 5, 6 – ущільнювальні кільця з берилієвої бронзи; 7 – сталеве ущільнювальне кільце; 8 – втулка з пружноеластомірного матеріалу; 9 – сталева гайка.

Рис. 2. Конструкція ущільнювача 2.

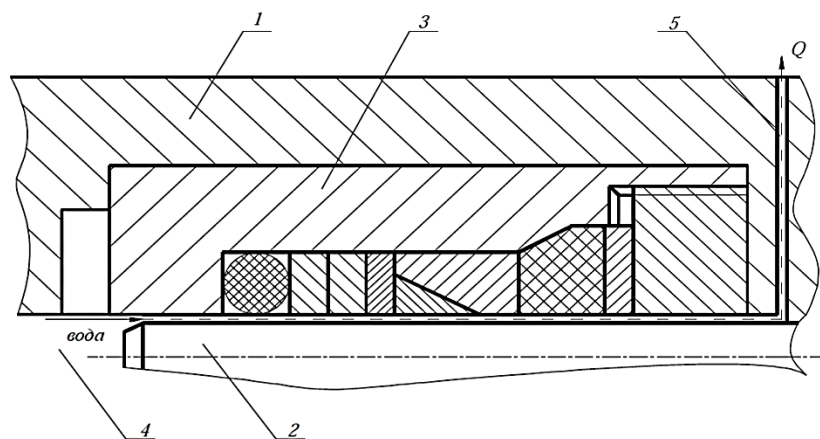
Конструкція ущільнювача, яка зображена на рисунку 2, наведена у варіанті ущільнення плунжера 1 гідромультіплікатора і містить корпус 2 з металевого, металокерамічного або керамічного матеріалу, усередині нього встановлено ущільнювальне кільце з берилієвої бронзи 3, на зовнішній поверхні якого встановлено ущільнювальне тефлонове кільце 4, всередині них проходить деталь, що ущільнюється, це може бути плунжер 1, поршень або шток гідравлічних машин. На зовнішній поверхні ущільнювального тефлонового кільця 4 встановлено ущільнювальні кільця з берилієвої бронзи 5, 6 різного діаметра, вставлено одне в друге, на відстані, що дорівнює діаметру сталевому ущільнювального кільця 7, яке щільно вставлено в цю відстань. Ущільнювальні поверхні штока, поршня або плунжера і/або ущільнювальних кілець 3, 4, 5, 6, 7, що труться, покриті антифрикційним і/або зносостійким матеріалом.

Між зовнішньою поверхнею ущільнювального сталевому кільця 7 і корпусом 2 встановлено втулку 8 з пружноеластомірного матеріалу, наприклад, гуми, для піджиму ущільнювальних кілець до поверхні плунжера 1, що ущільнюється, тим самим і герметизації цих

поверхонь. Торці ущільнювальних кілець, що з'єднуються між собою, після збірки піджаті, у свою чергу, сталеві гайкою 9.

Дослідження працездатності представлених ущільнювачів виконувалися на експериментальній стендовій установці для водорізання харчових продуктів, що дозволяє здійснювати дослідження ущільнювачів у широкому діапазоні робочих тисків (від 100 до 500 МПа). Для цього нові ущільнювачі були по черзі вбудовані у складений багат шаровий корпус гідромультіплікатора двосторонньої дії для розподілу циліндра низького тиску та циліндра високого тиску, що зображено на рисунку 3. Для виміру величини об'єму витоків води  $Q$  з камери надвисокого тиску 4 через ущільнювач 3 плунжера 2 у корпусі гідромультіплікатора 1 був виконаний канал 5. Об'єм витоків через ущільнювач визначався шляхом збору рідини з каналу 5 в мірну ємність за фіксований проміжок часу. Зміни тиску води  $\Delta P$ , МПа фіксувалися за допомогою стрілочного манометра МН 4 типу МТП класу 1 з діапазоном вимірів від 0 до 600 МПа, встановленого на трубопроводі надвисокого тиску. Величина  $\Delta P$  є різницею між тиском води  $P_1$  в трубопроводі надвисокого тиску установки для водорізання харчових продуктів зі стандартним капролоновим ущільнювачем плунжера гідромультіплікатора та тиском  $P_2$  з новою конструкцією ущільнювача плунжера

$$\Delta P = P_2 - P_1, \text{ МПа.} \quad (1)$$



1 – корпус гідромультіплікатора; 2 – плунжер; 3 – корпус ущільнювача; 4 – циліндр високого тиску; 5 – канал для виміру величини об'єму витоків води.

Рис. 3. Схема встановлення ущільнювача надвисокого тиску в корпус гідромультіплікатора двосторонньої дії.

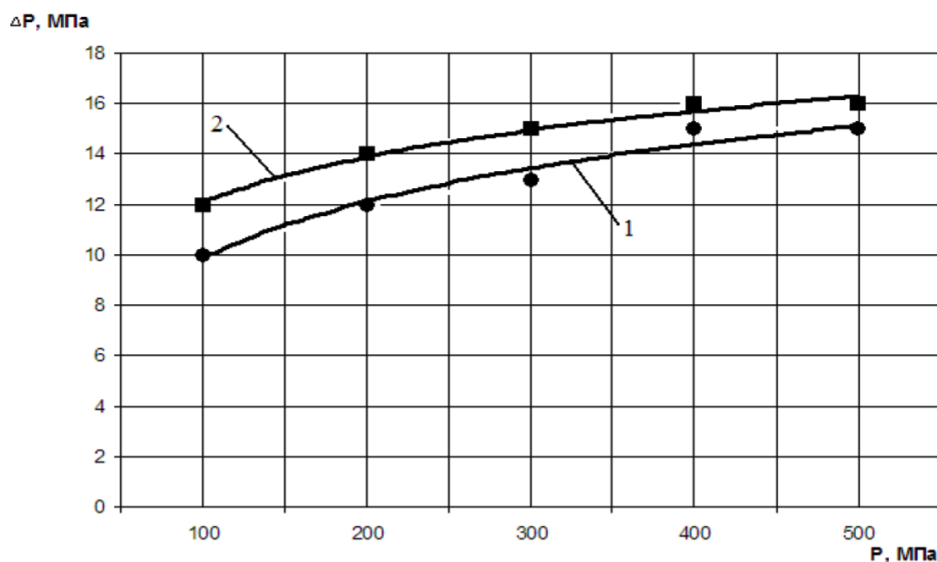
Отримані експериментальні результати зведено в таблицю 1 і наведено на рисунках 4 - 6.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень нових конструкцій ущільнювачів плунжера гідромультиплікатора двосторонньої дії

№ досліджу	Робочий тиск P, МПа	$\Delta P$ , МПа	Об'єм витоків води з новим ущільнювачем Q, л/хв	Об'єм витоків води зі стандартним ущільнювачем Q, л/хв
1	100	+10/+12	0,21/0,17	0,37
2	200	+12/+14	0,38/0,24	0,63
3	300	+13/+15	0,57/0,44	0,81
4	400	+15/+16	0,7/0,58	1,07
5	500	+15/16	0,88/0,75	1,24

Примітка. У чисельнику представлено експериментальні дані роботи ущільнювача конструкції 1, у знаменнику – конструкції 2.

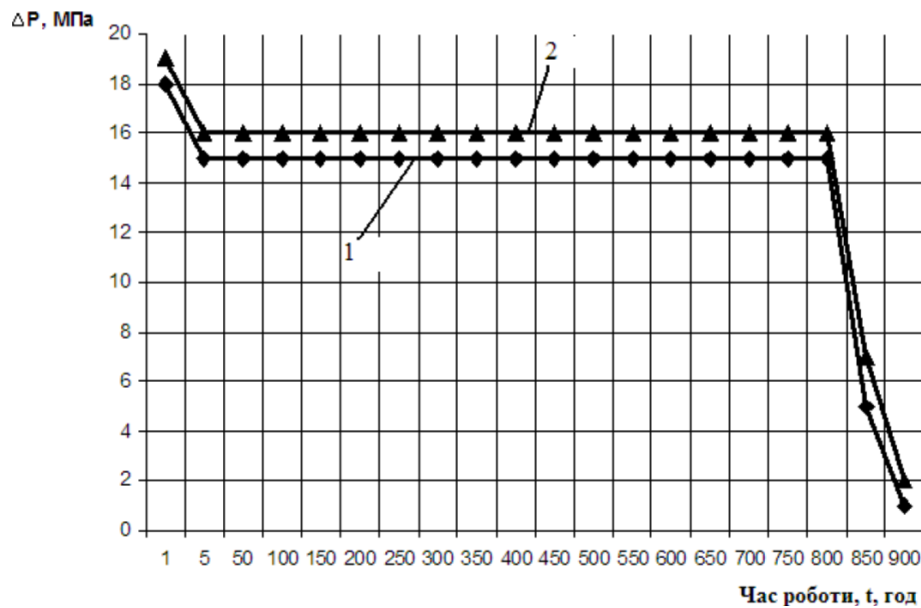
Аналіз експериментальних даних, представлених на рисунку 4, показує, що графік зміни тиску носить криволінійний характер. Величина у всіх випадках позитивна, що говорить про те, що тиск води в трубопроводі надвисокого тиску установки для водорізання з новими конструкціями ущільнень плунжера гідромультиплікатора вищий, ніж зі стандартним ущільнювачем, за однакових енерговитрат. Величина зміни тиску залишається незмінною близько 800 годин, потім починає стрімко знижуватися, що зображено на рисунку 5. Це свідчить про те, що ресурс роботи нових ущільнювачів більший приблизно в 1,5 разу, ніж стандартного ущільнювача (близько 500 г).



1 – конструкція ущільнювача 1; 2 – конструкція ущільнювача 2.

Рис. 4. Залежність зміни тиску  $\Delta P$ , МПа від величини робочого тиску P, Мпа.

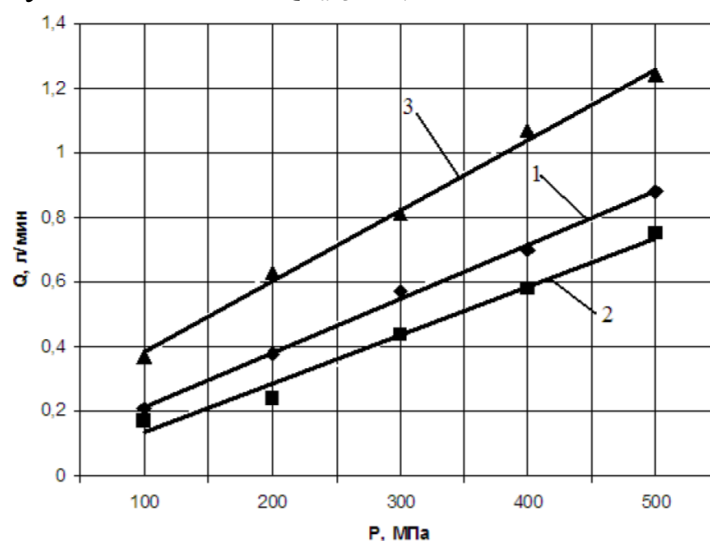




1 – конструкція ущільнювача 1; 2 – конструкція ущільнювача 2.

Рис. 5. Залежність зміни тиску РД, МПа від часу роботи ущільнювача t, год, за P = 500 МПа.

Величина об'єму витоків води Q (рис. 6) зі збільшенням робочого тиску від 100 до 500 МПа зростає по криволінійній залежності для всіх трьох конструкцій ущільнювачів. Однак максимальний об'єм витоків води з новими конструкціями ущільнювачів значно нижчий, ніж зі стандартним ущільненням, що, у свою чергу, знижує необхідну кількість затрачуваної електроенергії. Так, для конструкції ущільнювача 1 максимальний об'єм витоків води становить  $Q_{\max 1} = 0,88$  л/хв, для конструкції 2 –  $Q_{\max 2} = 0,75$  л/хв, для стандартного ущільнювача –  $Q_{\max 3} = 1,24$  л/хв.



1 – конструкція ущільнювача 1; 2 – конструкція ущільнювача 2; 3 – стандартний ущільнювач.

Рис. 6. Залежність величини об'єму витоків Q від величини робочого тиску.

*Висновки.* У результаті експлуатаційних випробувань встановлено, що ресурс роботи нових конструкцій ущільнювачів плунжера гідромультипликатора становить близько 800 годин, що в 1,5 разу більше, ніж стандартного ущільнювача, а величина об'єму витоків води  $Q$  з новими конструкціями ущільнювачів ( $Q_{\max 1} = 0,88$  л/хв і  $Q_{\max 2} = 0,75$  л/хв) значно нижча, ніж об'єми витоків води ( $Q_{\max 3} = 1,24$  л/хв) зі стандартним ущільнювачем. Експериментально підтверджено ефективність роботи запропонованих конструкцій ущільнювачів плунжера гідромультипликатора та доцільність їхнього використання. Розроблені конструкції ущільнювачів можуть бути рекомендовані для використання в обладнанні для водорізання харчових продуктів і в аналогічних установках.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямку є більш детальні експлуатаційні дослідження ущільнювачів плунжера гідромультипликатора для їх удосконалення.

#### Література:

1. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под ред. А. И. Голубева. Москва: Машиностроение, 1994. 448 с.
2. Уплотнения: сб. статей / под ред. В. К. Житомирского. Москва: Машиностроение, 1964. 280 с.
3. *Никитин Г. А.* Щелевые и лабиринтные уплотнения. Москва: Машиностроение, 1982. 168 с.
4. *Тихомиров Р. А., Гуенко В. С.* Гидрорезание неметаллических материалов. Киев: Техника, 1984. 150 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДОРЕЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ УПЛОТНИТЕЛЯ ПЛУНЖЕРА ГИДРОМУЛЬТИПЛИКАТОРА ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ**

Погребняк А. В., Пархоменко Р. А.

*Аннотация* – в статье приведены результаты анализа технических решений в области разработки уплотнений плунжера гидромультипликатора водорезного оборудования. Определены пути преодоления недостатков водорезного оборудования и разработана новая конструкция уплотнителя, так как существующие типы уплотнений не соответствуют требованиям, предъявляемым к оборудованию для водорезания пищевых продуктов. Разработаны новые конструкции уплотнений с высокими технико-экономическими показателями и ресурсом работы.

## INVESTIGATION OF THE DESIGN OF A WATERCASE EQUIPMENT AND ITS IMPROVEMENT BY MODERNIZING THE SEAL OF THE PLUGGER OF THE HYDRO-MULTIPLICATOR OF BILATERAL ACTION

A. Pogrebnyak, R. Parkhomenko

### *Summary*

Various tools and equipment are used to cut food. However, when using these tools and equipment, there are significant difficulties in cutting solid (frozen) food products. An alternative way of processing is the process of water cutting, which eliminates existing disadvantages.

Water cutting is used in various industries except food. With the use of the water cutting method in the food industry, it will be possible to achieve significant advantages over already existing means for cutting hard food products: to reduce product losses due to the small cutting width; improve the degree of sanitary safety and the quality of the separation surface; cut in any direction; reduce downtime for maintenance; to cut solid food at almost all temperatures.

Conducted researches on the have shown that the life of the new designs of the densifier plunger of the hydromultiplator is about 800 hours, which is 1.5 times more than the standard sealant, and the volume of leakage water  $Q$  with new condenser structures ( $Q_{\max 1} = 0.88$  l / min and  $Q_{\max 2} = 0.75$  l / min) is significantly lower than the volume of leakage water ( $Q_{\max 3} = 1.24$  l / min) with a standard sealant. The efficiency of the proposed designs of the plunger seals of the hydromultiplaster and the expediency of their use have been experimentally confirmed. Designed seals designs can be recommended for use in equipment for water cutting food products and in similar installations.

The received results prove high potential of further research-and-developments of the industrial prototype of water cutting equipment for food products.

УДК 631.363.2

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-35-40

## РОЗРОБКА ВІДЦЕНТРОВО-РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПШЕНИЦІ НА КОМБІКОРМ

Верхоланцева В. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена вирішенню проблеми виробництва кормів, шляхом використання відцентрово-роторного подрібнювача. Наведені результати досліджень процесу подрібнення пшениці в галузі механізації тваринництва.

**Ключові слова** – подрібнення, пшениця, комбікорм, модуль помелу, відцентрово-роторний подрібнювач.

*Постановка проблеми.* В агропромисловому комплексі нашої країни останнім часом намітилася стійка тенденція на наближення виробництва комбікормів безпосередньо до споживачів комбікормової продукції і місцевих сировинних ресурсів. Це обумовлено в першу чергу значними темпами росту вартості комбікормової продукції. Приготування корму безпосередньо в господарствах дозволяє значно знизити витрати на транспортні операції, ширше використовувати дешеві місцеві сировинні ресурси й надійно забезпечувати господарство комбікормами. Все це дозволяє істотно скоротити собівартість вироблених кормів [1].

Близько 45...50 % усього світового виробництва зерна використовується для годівлі сільськогосподарських тварин, головним чином у вигляді комбінованих кормів. Незважаючи на розмаїтність рецептур, основою всіх комбінованих кормів є зерно злакових, насіння бобових і продукти їхньої переробки, що становлять від 30 до 80 % всієї маси корму. Застосування комбікормів є найбільш раціональним способом використання концентратів. Згодовування непідготовленого зерна знижує ефективність його використання на 10...20% [2,3,4].

По зоотехнічних нормах для відгодівлі великої рогатої худоби до здавальної маси 400...500 кг потрібно 16...18 місяців, а фактично цей строк розтягується до 30 місяців через невідповідну годівлю. У собівартості тваринницької продукції вартість кормів становить: у м'ясомолочном скотарстві 45...50%, свинарстві 60...65 %, птахівництві 70...80 %. Наукою і практикою годівлі тварин і птаха встановлено, що ефективність при годівлі комбікормом залежить не тільки від

збалансованості його по живильному складу і виду тварини, але й від крупності часток (модуля помолу) комбікормів [4, 5].

*Аналіз останніх досліджень.* По даним вчених, збільшення числа подрібнювачих та сепаруючих камер, що поліпшує якість подрібнювання, може забезпечувати поділ подрібненого матеріалу на фракції по розмірах часток, масі, але викликає ускладнення конструкції, утрудняє догляд за нею та істотно підвищує її вартість.

Тому подальше дослідження з метою створення дробарок або подрібнювачей з більше високими техніко-економічними показниками є актуальною проблемою..

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної роботи є дослідження використання імпульсного гомогенізатора молока в промислових умовах для виробництва питного пастеризованого молока.

*Основна частина.* Тверді тіла піддаються подрібнюванню для одержання сипучого матеріалу, що складає із часток певної крупності. Цей матеріал являє собою кінцевий продукт або продукт, що зручно піддавати подальшій обробці. Такий метод руйнування твердих тіл може бути названий простим подрібнюванням. Матеріали, що піддаються подрібнюванню, дуже різноманітні. Настільки ж різноманітні й типи подрібнювальних машин, призначених для подрібнювання. [2, 4].

Механізм подрібнювання кріпиться на верхній частині станини. У процесі експлуатації, при технічному огляді або ремонті механізму подрібнювання останній може зніматися і установлюватися в зборі зі шківками.

Відвід подрібненого продукту кріпиться до корпусу механізму подрібнювання.



Рис.1. Експериментальна установка.

Принцип роботи подрібнювача здійснюється в такий спосіб: робочі органи (диски-ротори) з вертикальною віссю обертання, розміщені в корпусі 1 камери подрібнювання на фланцях валів,

обертаються в протилежні сторони. Зерно, що завантажується в патрубок, через радіальні вікна до/з порожньої частини вала, подається в простір між дисками, на яких концентрично встановлені кільцеві виступи, що мають наскрізні радіальні пази. Проходячи під дією відцентрових сил по радіальних наскрізних пазах суміжних кільцевих виступів, зерно подрібнюється за допомогою зрізу й сколювання з ко-взанням крайками пазів суміжних кільцевих виступів протилежних дисків. Зерно, що подрібнюється, піддавшись впливу на першій ріжучій парі кільцевих виступів, рухається під дією відцентрових сил по пазах до наступних ріжучих пара, а потім подрібнений матеріал викидається через вивантажувальний патрубок за межі робочої камери подрібнювача.

Вихідний матеріал у камеру подрібнювання подавався за допомогою бункера зерна. Дня проведення одного досвіду в бункер засипали 1 кг зернового матеріалу, що дозволило вийти на сталий режим роботи установки й забезпечити при цьому запис потужності .

Частота обертання вертикальних валів подрібнювача, на яких встановлені диски-ротори, змінювалася за допомогою комплексу змінних шківів клинопасової передачі.

Ситовий аналіз проводили на лабораторному класифікаторі. Конструкція механізму кріплення дозволяє легко та швидко знімати набір сит, змінювати кількість сит.

Таким чином , заносимо експериментальні дані у таблиці.

Таблиця 1 – Результати дослідів при зазорі між дисками 3мм

№ досліду	$p_0, \Gamma$	$p_1, \Gamma$	$p_2, \Gamma$	$p_3, \Gamma$	$M, \text{мм}$
№1	13	17	20	50	2,56
№2	12	18	22	48	
№3	13,5	16,5	20,7	49,3	
Середнє значення	12,8	17,2	20,9	49,1	

По цим даним можна сказати, що для цього зазору характерний крупний помел.

Таблиця 2 – Результати дослідів при зазорі між дисками 2,5мм

№ досліду	$p_0, \Gamma$	$p_1, \Gamma$	$p_2, \Gamma$	$p_3, \Gamma$	$M, \text{мм}$
№1	20,0	20,97	30,3	28,73	2,15
№2	16,31	25,48	33,5	24,71	
№3	17,4	23,8	38,58	20,22	
Середнє значення	17,9	23,4	34,2	24,5	

За даними ми бачимо, що характерний крупний помел.

Таблиця 3 – Результати дослідів при зазорі між дисками 2мм

№ дослідю	$p_{0,\Gamma}$	$p_{1,\Gamma}$	$p_{2,\Gamma}$	$p_{3,\Gamma}$	$M, \text{мм}$
№1	24,55	29,75	33,35	12,35	1,8
№2	25,33	30,70	33,90	10,07	
№3	20,77	33,03	36,2	10,00	
Середнє значення	23,5	31,2	34,5	10,8	

По результатам таблиці видно, що характерний середній помел.

Таблиця 4 – Результати дослідів при зазорі між дисками 1,5мм

№ дослідю	$p_{0,\Gamma}$	$p_{1,\Gamma}$	$p_{2,\Gamma}$	$p_{3,\Gamma}$	$M, \text{мм}$
№1	33,17	37,23	17,31	12,29	1,67
№2	29,3	38,37	20,7	11,63	
№3	23,9	39,41	22,37	14,32	
Середнє значення	28,8	38,3	20,1	12,8	

По цим даним можна сказати, що для цього зазору характерен середній розміл.

Таблиця 5 – Результати дослідів при зазорі між дисками 1мм

№ дослідю	$p_{0,\Gamma}$	$p_{1,\Gamma}$	$p_{2,\Gamma}$	$p_{3,\Gamma}$	$M, \text{мм}$
№1	38,73	40,13	10,14	11	1,4
№2	20,17	50,13	15,4	14,3	
№3	19,88	52,12	13,5	14,5	
Середнє значення	26,3	47,5	13,0	13,2	

Завдяки цим даним можна сказати, що відбувався середній помел.

За результатами ситового аналізу будується графік (рис.3).

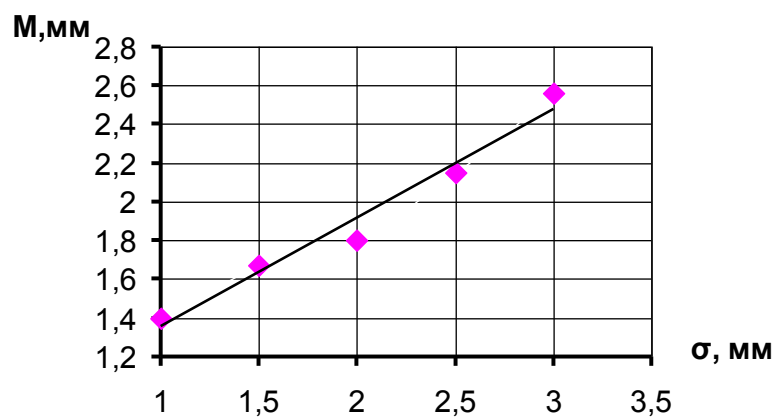


Рис. 3. Графік залежності модуля помелу від зазору між дисками.

*Висновки.* У експериментальній частині було виявлено, що значний вплив на кінцевий продукт роблять диски, а саме зазори між ними. Виявлено, що при зазорах діаметром 1 і 2 характерний середній помел.

Література:

1. Скалецька Л. Ф., Духовська Т. М., Сеньков А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 1994. 303 с.

2. Справочник по механизации животноводства / С. В. Мельников и др. Ленинград: Колос, 1983. 336 с.

3. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навчальний посібник / О. В. Дацишин та ін. ; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова книга, 2008. 408 с.

4. Алешкин В. Р., Роцин П. И. Механизация животноводства. Москва: Агропромиздат, 1985. 336 с.

5. Переработка продукции растительного и животного происхождения / А. В. Богомолов и др. Санкт-Петербург: Гиорд. 2001. 356 с.

## **РАЗРАБОТКА ЦЕНТРОБЕЖНО-РОТОРНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПШЕНИЦЫ НА КОМБИКОРМ**

Верхоланцева В. А.

**Аннотация** – стаття посвящена решению проблемы производства кормов, путем использования центробежно-роторного измельчителя. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса измельчения пшеницы для применения в области механизации животноводстве, которые показывают, при каких изменениях конструктивных параметров центробежно-роторного измельчителя, а именно, зазора между дисками, будет модуль помола.



## **DEVELOPMENT OF THE CENTRIFUGAL-ROTARY MIXER FOR THE DISTRIBUTION OF WHEAT ON COMBIQUE**

V. Verkholantseva

### *Summary*

**Despite the prevalence of the grinding process, today there are no comprehensive scientific studies of the influence of the constructive-operational parameters of this process on the complex of quality indices of the crushed product, which negatively affects the development of new equipment, technology and quality of the final product.**

**When preparing forages it is necessary to take into account not only the variety of feed types and their properties, but also the various technologies and methods of their processing. The methods are divided by the kind of energy expended on the technological process: mechanical, thermal, chemical, biological and biochemical. The most common and important mechanical process is grinding.**

**The task of processing raw materials is to manage the mechanical processes of formation, deformation and destruction of disperse systems of various types and the production of products on this basis with given properties. Obviously, without studying the physical-mechanical and other properties of the raw material, this task can not be carried out. Knowledge of the properties of raw materials is the basis for calculating the working bodies, reducing the energy and material consumption of processing machines, improving the quality of the products obtained.**

**In this connection, the task of scientific substantiation of the directions of improvement of the grinding process becomes more urgent in order to reduce the energy intensity and complexity of the process, to expand the functional capabilities of the equipment and to increase the quality indices of the crushed material.**

УДК 621.979.6: 633.85

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-41-47

## МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯ У ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ ПРИ ВІДЖИМАННІ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Дідур В. В., к. т. н.,

Верещага А. Л., аспірант\*

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-20-74

**Анотація** – в роботі описаний технологічний процес пресування мезги насіння рицини в експериментальному комплексі для віджимання олії з олійної сировини. Для контролювання величини зусилля в експериментальному комплексі використаний метод тензометрування, що полягав у розміщенні на спеціальній тензобалці тензорезисторів та визначенні параметрів за допомогою стенду для випробування гідроагрегатів та спеціальної експериментальної установки.

**Ключові слова** – насіння рицини, рушанка, мезга, пресування, тензорезистор, зусилля, тиск, прес, експериментальний комплекс

*Постановка проблеми.* Олійні культури мають важливе народногосподарське значення, оскільки є джерелом одержання цінних продовольчих та технічних продуктів. Серед олійних культур важливе місце на півдні України посідає рицина, основний продукт переробки якої є рицинова олія, що застосовується у військовій, хімічній, електротехнічній, медичній, косметичній, лакофарбовій промисловості, а також в сільському господарстві та при виготовленні біопалива [1]. Якість і кількість готової продукції при переробці рицини в значній мірі залежить від прийнятої технології. В технології переробки рицини важливе місце посідає операція віджимання олії. Сучасне апаратурне оформлення виробництва рослинних олій пов'язано із застосуванням пресів різних конструкцій [2-4]. Одним з технологічних параметрів, який впливає на кількість отриманої олії після пресування є величина зусилля, що розвивається пресом. Але, мезга насіння рицини відрізняється за своїми фізико-механічними властивостями від інших олійних культур. Зусилля, яке розвиває прес при здавлюванні мезги насіння рицини може відрізнитися від необхідної величини. Тому, забезпечення технологічних параметрів пресування мезги насіння рицини з врахуванням її фізико-механічних

---

© Дідур В. В., Верещага А.Л.

\*Науковий керівник – к. т. н. Дідур В. В.

властивостей є актуальним завданням. Але без досконалих методів вимірювання величини зусилля, що розвивається пресом, вирішення цієї проблеми не можливо.

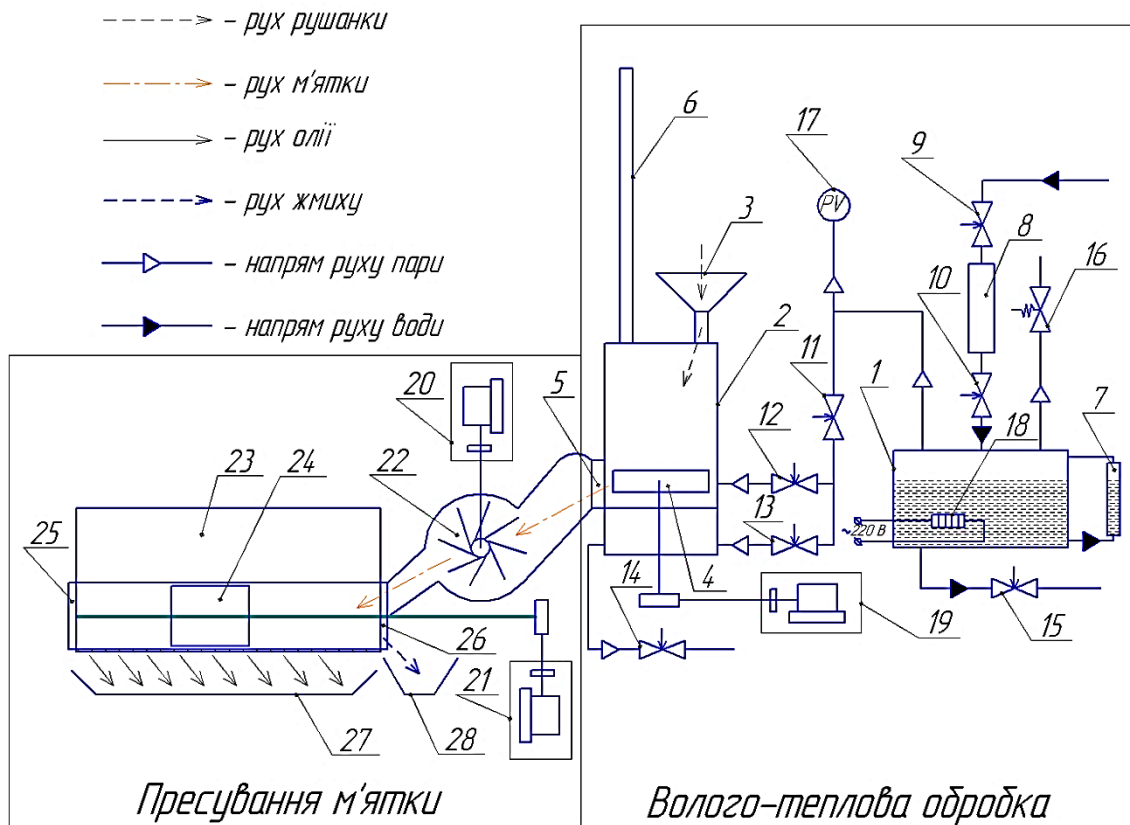
*Аналіз відомих досліджень.* Методи вимірювань різних видів механічних зусиль за видом безпосередньо вимірюваної величини розділяються на групи, що засновані на вимірі: деформацій досліджуваного об'єкта або пружного елемента, які виникають під дією зусилля, яке визначається; параметрів або властивостей перетворювачів, що змінюються під дією визначених зусиль (електричний або магнітний опір, частота власних коливань); безпосередньо властивостей досліджуваних об'єктів або середовищ, що залежать від діючих на них зусиль (швидкість поширення звуку, теплопровідність газу, температура); зусилля, що врівноважує вимірюване зусилля [5].

*Формування цілей статті (постановка завдання).* Розробка методики тарування тензобалки експериментального комплексу з віджимання олії методом, заснованим на вимірі деформацій тензобалки.

*Основна частина.* Дослідження технологічного процесу віджимання олії з насіння рицини і визначення раціональних значень його параметрів виконані на експериментальній установці, технологічна схема якої представлена на рисунку 1.

Технологічний процес жаріння (зволоження та сушіння) м'ятки насіння рицини описаний у [6].

Віджимання олії здійснюється в пресі (рис. 1). Для цього, м'ятка через вивантажувальне вікно подається у бітер 22, який обертається електродвигуном з редуктором 20. У свою чергу, бітер 22, який обертається, заштовхує м'ятку у канал пресу 23 в необхідній кількості. При цьому, поршень 24 відведений у крайнє ліве положення. З метою підтримання постійної температури м'ятки після її жаріння, за допомогою нагрівального елемента 29 канал преса попередньо нагрівається до температури 85...90°C. Після наповнення каналу преса 23 м'яткою, закривається вставка каналу 26 включається електродвигун з редуктором 21, який призводить поршень 24 до руху. Поршень 24, рухаючись вправо, здавлює м'ятку. Олія, що віджимається при стисненні, через зерні пластини (знаходяться в нижній частині преса) потрапляє в ємність для збору олії 27. Контроль зусилля при стисненні здійснюється за допомогою тензорезистрів, що встановлені на вставці 26. Далі слід видалити з каналу преса 23 віджату мезгу. Для цього знімають вставку 26, включають електродвигун з редуктором 21 для переміщення поршня 24. Відпрацьована мезга вичавлюється поршнем і виходить в нижню частину бітера 22, який має проріз для вивантаження. Олію, що потрапила у ємність 27 вивантажували у бюксу та зважували.

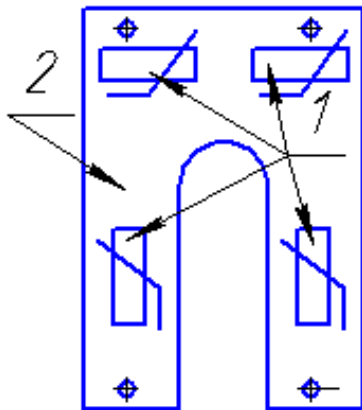


1 – парогенератор; 2 – жаровня; 3 – завантажувальний бункер; 4 – мішалка; 5 – вивантажувальне вікно; 6 – труба для відведення парів; 7 – мірне скло парогенератору; 8 – додаткова ємність для води; 9-15 – прохідний регулюючий вентиль; 16 – зворотній клапан; 17 – манометр; 18 – нагрівальний елемент; 19-21 – електродвигун з редуктором; 22 – бітер; 23 – прес; 24 – поршень пресу; 25-26 – засувка пресу; 27 – ємність для збирання олії; 28 – ємність для збирання жмиху.

Рис. 1. Технологічна схема експериментального комплексу для віджимання олії з олійної сировини.

Проведення досліджень в такому пресі (рис. 1) потребує контролю зусилля поршня 24 на мезгу, що знаходиться в каналі пресу 23. Для визначення зусилля, застосовано тензометрування, що виконано за допомогою тензорезисторів. Так як при переміщенні, поршень 24 через мезгу передає зусилля на плиту 26 (рис. 1), то блок тензорезисторів встановлений на спеціальній балці 2 (рис. 2), що прикріплена до плити 26. Таким чином, плита 26 (рис. 1) зерної камери являється пристроєм для виміру внутрішнього тиску, в яку встановлюється тензобалка з тензорезисторами. Тензорезистори 1 на тензобалці 2 (рис. 2) включені за мостовою схемою таким чином, щоб при однаковому опорі всіх тензорезисторів, вихідний сигнал дорівнювався нулю. При збільшенні зусилля на тензобалку, опір тензорезисторів, а відповідно і вихідного сигналу, буде теж

змінюватися. Для контролю вихідного сигналу від тензорезисторів застосовано аналого-цифровий перетворювач «4К ТЕНЗО» та



1 – тензорезистори;  
2 – тензобалка.

Рис. 2. Розміщення тензорезисторів на тензобалці

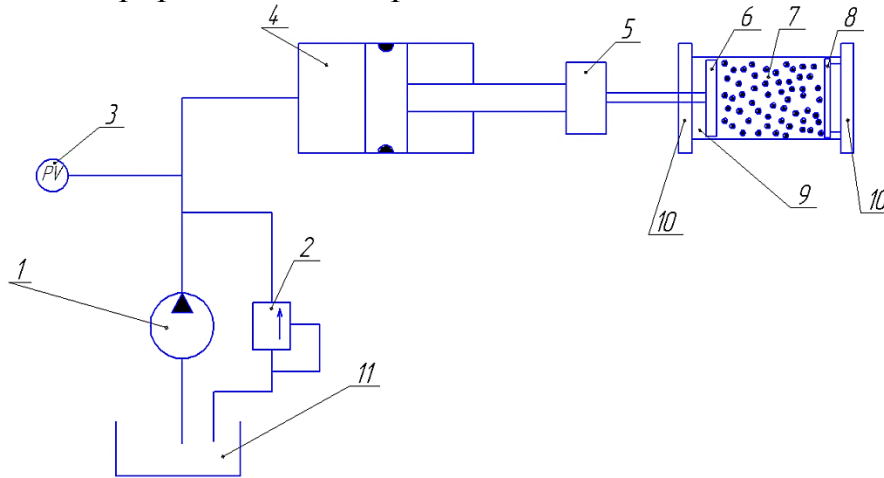
програмне забезпечення *adctensosensor.exe* у форматі CVS, що написано на Qt (версія 5.5, статична лінковка) під ліцензією GNU General Public License [7]. Таке програмне забезпечення встановлюється на ноутбук, за допомогою якого контролювалася величина вихідного сигналу від тензорезисторів.

Але для того, щоб визначати зусилля, з яким діє поршень 24 на мезгу (рис.1), необхідно провести тарування тензобалки з тензорезисторами. Такі експериментальні дослідження можна виконати за допомогою стану для випробування гідроагрегатів КИ-4200 та експериментальної установки, технологічна схема якої приведена на рис.

3. Експериментальна установка складається з каналу 9, в який засипається мезга насіння ріцини та поршня 6, що здавлює цю мезгу. З обох сторін канал 6 закривається плитами 10. За допомогою стану КИ-4200 при подачі масла у гідроциліндр 4, штовхач 5 рухає поршень 6.

Дослідження проводили наступним чином. Попередньо приготовлену мезгу 7 засипали до каналу 9 (рис. 3). Закривали плитою 10, на якій встановлена тензобалка з тензорезисторами 8. Встановлено, що затягнення болтів плити 10 з каналом 9 впливає на вихідний сигнал від тензорезисторів. Тому, для отримання точних вимірювань важливим є максимальне стиснення плити 10 з каналом 9 з постійно однаковим зусиллям на всіх чотирьох болтах. Перевірка затягнення болтів здійснювалася динамометричним ключем. Провід від тензорезисторів з'єднувався з аналого-цифровим перетворювачем «4К ТЕНЗО», оцифрований сигнал з якого поступав на ноутбук. Після підключення вимірювального пристрою до ноутбука, запускають програму *adctensosensor.exe* та фіксують значення вихідного сигналу (умовного опору) на ноутбуці від тензорезисторів. Це значення, що вимірюється в умовних одиницях приймають за нульову позначку. Потім вмикають станд для випробування гідроагрегатів КИ-4200. За допомогою насоса 1 створювався тиск, який фіксувався манометром збиткового тиску 3. Величина тиску фіксувалася через кожні 10  $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$  до значення 140  $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ . При цьому, масло подавалося насосом 1 до гідроциліндра 4. Під тиском починав рухатися у гідроциліндрі 4 штовхач 5. Відповідно, поршень 6 у каналі 9 переміщувався і здавлював мезгу 7. Через кожні 10  $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$  (величина тиску контролювалася за допомогою манометра 3), значення умовного

опору від тензорезисторів фіксувалося на ноутбучі. Кожен дослід проводився з триразовою повторністю.



1 – насос; 2 – зворотній клапан; 3 – манометр; 4 – гідроциліндр; 5 – штовхач; 6 – поршень; 7 – матеріал, що досліджується; 8 – тензобалка з тензорезисторами; 9 – канал; 10 – плита; 11 – ємність з маслом.

Рис. 3. Схема тарування тензорезисторів.

Величину зусилля при кожному значенні тиску визначали за формулою

$$F = P \cdot S, \quad (1)$$

де  $P$  – величина тиску, що створюється насосом  $\text{кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ ;  
 $S$  – площа поршня гідроциліндра,  $\text{см}^2$ .

За отриманими даними побудовано тарувальний графік залежності умовного опору, значення якого фіксували на ноутбучі від величини зусилля  $\varepsilon=f(F)$  (рис 4).

Програмне забезпечення аналого-цифрового перетворювача обмежено величиною вихідного сигналу від тензорезисторів на рівні  $\varepsilon=32700$  у.о. Таким чином максимальна величина зусилля, що можна визначити за допомогою тарувального графіку складає  $F=3300$   $\text{кг} \cdot \text{с}$ .

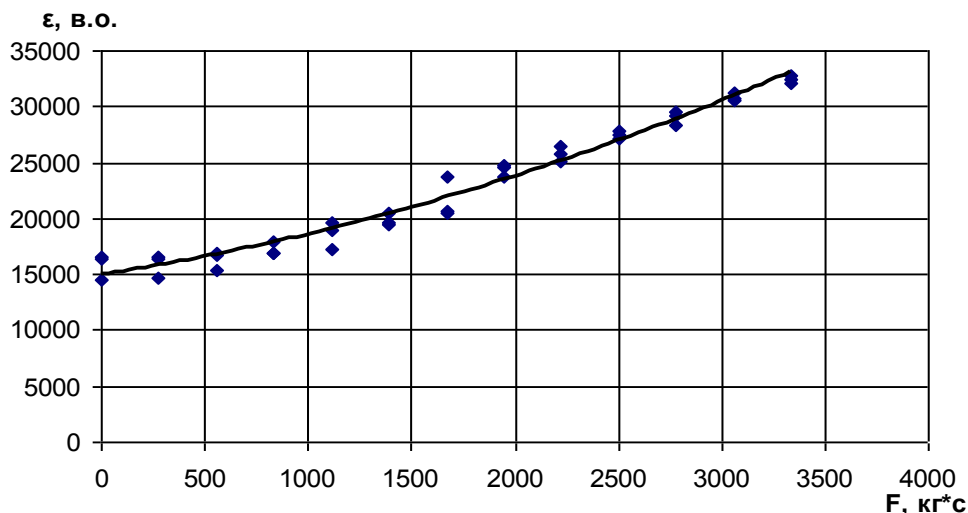


Рис. 4. Залежність умовного опору від величини зусилля  $\varepsilon=f(F)$ .

*Висновки.* Розроблено оригінальну методику вимірювання зусилля, що виникають у пресі шляхом тензометрування та отримано тарувальний графік, який дозволяє визначити зусилля, що діють на мезгу олійної сировини в межах від 0 до 3300 кг·с.

Література:

1. *Дідур В. А.* Розробка технології, експериментального устаткування технологічної лінії по глибокій переробці насіння рицини в касторову олію для виробництва мастил для сільськогосподарської техніки: звіт про НДР. Мелітополь: ТДАТА, 2005. 99 с.

2. *Масликов В. А.* Технологическое оборудование производства растительных масел. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 439 с.

3. *Голдовский А. М.* Теоретические основы производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1958. 446 с.

4. Технология производства растительных масел / *В. М. Конейковский* и др. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.

5. Вимірювання механічних напружень. URL: [https://studopedia.com.ua/1\\_125392\\_vimiryuvannya-mehanichnih-napruzhen.html](https://studopedia.com.ua/1_125392_vimiryuvannya-mehanichnih-napruzhen.html) (дата звернення: 21.11.2018).

6. *Didur V., Chebanov A., Didur V., Aseev A.* Foundation of operating practices of seed meal moisture and heat treatment on oil extraction from castor beans // *Journal of Agriculture and Environment*. Melitopol: TSATU, 2017. Vol. 1, № 1. P. 9-15.

7. *Сірий І. О., Кушнар'ов А. С., Сірий І. С.* Обґрунтування конструктивних параметрів нового робочого органу з активаторами розпушування ґрунту // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 2. С. 26-36.

## **МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ В ШНЕКОВОМ ПРЕССЕ ПРИ ОТЖИМЕ МАСЛА ИЗ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ**

Дидур В. В., Верещага А. Л.

*Аннотация* – в работе описан технологический процесс прессования мезги семян клещевины в экспериментальном комплексе для отжимания масла из масличного сырья. Для контроля величины усилия в экспериментальном комплексе использован метод тензометрирования, который заключался в размещении на специальной тензобалке тензорезисторов и определении параметров с помощью стенда для

**ИСПЫТАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.**

**METHOD OF MEASURING THE FORCE IN A SCREW PRESS DURING PRESSING OIL FROM VEGETABLE RAW MATERIALS**

Didur V, Vereshaga A.

*Summary*

In the production of vegetable oils, there are methods of getting oil by pressing or extraction. The solvents used to get the oil by the extraction method do not meet all the requirements using the extraction process technology. In this regard, the extraction reduces the quality indicators of oil and grist, increases the cost of the process and the harmful effects on the human body. The method of obtaining vegetable oils with the help of a press is devoid of these disadvantages. Modern instrumentation for the production of vegetable oils is associated with the use of presses of various designs, one of the technological parameters that affects the amount of oil obtained after pressing is the amount of effort developed by the press. However, mash of castor bean seeds is very different in its physicomachanical properties from other oilseeds. The force that the press develops when the mash of castor bean seeds is compressed may differ from the required value. Therefore, ensuring the technological parameters of pressing castor mash with regard to its physical and mechanical properties is an important task. Nevertheless, without perfect methods of measuring the magnitude of the force developed by the press, the solution to this problem is impossible.

The paper describes the technological process of pressing the castor bean seed pulp in an experimental complex for pressing oil from oilseeds. To control the magnitude of the effort in the experimental complex, a strain gauge method was used, consisting in placing strain gages on a special strainer and determining parameters using a test bench for hydraulic units and a special experimental setup.

According to the developed method of calibrating the strainer of the experimental complex with oil extraction, calibration charts were constructed according to the conditional resistance, the value of which was fixed on the laptop from the analog-to-digital converter from the force  $\varepsilon=f(F)$ , which allows the study of oil extraction from the mash of castor seeds to determine the true indicators of the effort created in the press.



УДК 663:664.8.037.1

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-48-54

## ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ

Стручаєв М. І., к. т. н.,

Тарасенко В. Г., к. т. н.,

Бондар Д. В., магістрант

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена удосконаленню технології охолодження напоїв і наведено запропонований нами варіант вдосконалення способу з використанням плівкового теплообмінника швидкого охолодження, який можна використовувати для продажу фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

**Ключові слова** – технологія охолодження напоїв, плівковий охолоджувач напоїв, яблучний сік, ефективність теплообміну.

*Постановка проблеми.* В даний час активно проводяться дослідження нових напрямків розробки охолоджувачів напоїв, що відповідають сучасному рівню розвитку харчової промисловості. Один з них - створення технології швидкісного охолодження [1, 2]. Ефективним способом охолодження напоїв є плівковий теплообмін. Цей спосіб дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання. [3, 4, 5, 6, 7].

*Аналіз останніх досліджень.* Все більшої популярності набувають ресторани і пункти швидкого харчування, в яких пропонують не тільки гарячі напої - чай, кава, а й охолоджені: які приготовані в охолоджувачах напоїв для фруктових, овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв, таких як пиво, квас, лимонад. В даний час спостерігається зацікавленість до досліджень із створення технологій швидкісного, проточного охолодження напоїв [8, 9, 10].

При звичайному охолодженні напоїв їх наливають в ємності, для прискорення процесу використовують мішалки [11]. Недоліком цього способу є тривалий час очікування. В апаратах іншого типу напій пропускають крізь змішувик [11, 12], що скорочує час очікування, однак різко погіршує якість санітарно-гігієнічної обробки обладнання, крім того, виникає небажана мікрофлора, пригнічується

дія ферментів, що різко знижує біологічну цінність соку або іншого напою.

Звичайний охолоджувач напоїв [9] рідини складається з теплоізольованого резервуара, в який вбудований змійовик випарника холодильної машини насоса, труби для подачі напою і розливного вентиля. Однак охолоджувач напоїв об'ємного типу має кілька недоліків: складна конструкція, наявність проміжного теплоносія, низька ефективність теплообміну через те, що теплопередача здійснюється в обсязі, а коефіцієнт теплопровідності води дуже незначний (0,45...0,51 Вт/(м·К)), що знижує коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, вони потребують складної санітарно-гігієнічної обробки обладнання.

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є аналіз процесу теплообміну в охолоджувачах напоїв і способів швидкого зниження температури в охолоджувачах напоїв проточного типу для фруктових, овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

Завдання статті: удосконалення способу охолодження напоїв з використанням швидкого зниження температури соків, в якому шляхом введення в систему нових конструктивних елементів спрощується конструкція, усувається проміжний теплоносій, підвищується ефективність теплообміну, збільшується коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, спрощується санітарно-гігієнічна обробка обладнання.

*Основна частина.* Запропонований нами охолоджувач напоїв проточного типу складається з теплоізольованого корпусу, в ньому змонтовані: змійовик випарника холодильної машини в циліндричній оболонці з харчової нержавіючої сталі і верхня кільцева камера для напою, яка встановлена із щільним зазором відносно циліндричної оболонки. Окремо розташований насос, труби для подачі напою, розливний ventиль.

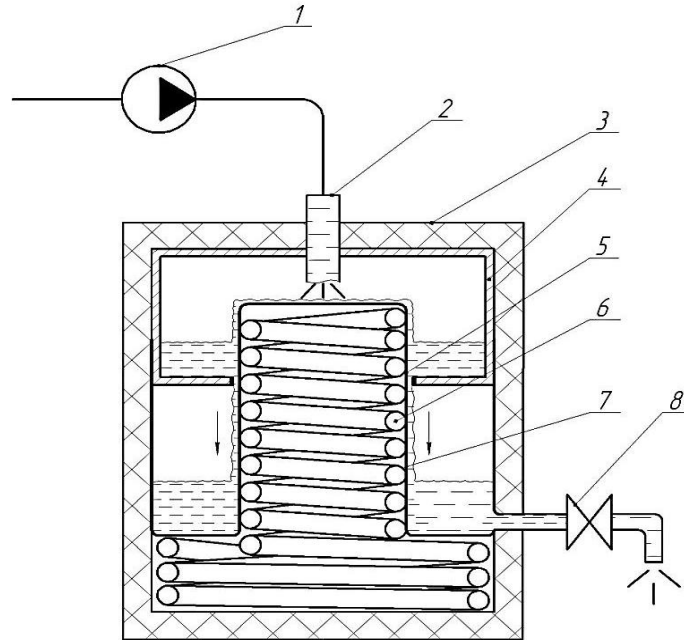
Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв проточного типу показана на рис.1.

Принцип дії запропонованого пристрою полягає в наступному. Напій, який необхідно охолодити, насосом 1 через трубу 2 для подачі напою, подається у встановлену в теплоізольованому резервуарі 3, верхню кільцеву камеру 4 для напою. У верхній кільцевій камері 4, яка охоплює циліндричну оболонку 7 змійовика 6 випарника холодильної машини, підтримується постійний рівень напою вище верхньої кришки циліндричної оболонки 7.

Визначимо критерії плівкового теплообміну та основні конструктивні параметри охолоджувача напоїв проточного типу.

В якості охолоджувальної рідини, для прикладу, виберемо яблучний сік. Температура яблучного соку: на вході  $t_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ , на

виході  $t_2 = 20$  °С. Витрата яблучного соку  $-G_C = 31$  кг / год або 0,52 л / хв. Питома теплоємність яблучного соку  $c = 3,2$  кДж/(кг·К). Щільність яблучного соку  $\rho = 1051$  кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт теплопровідності яблучного соку  $\lambda = 0,554$  Вт/(м·К) [10].



1 – насос, 2 – труба для подачі напою, 3 – теплоізолюваний корпус, 4 – верхня кільцева камера для напою, 5 – щілинний зазор, 6 – змійовик випарника холодильної машини, 7 – циліндрична оболонка змійовика, 8 – розливний вентиль.

Рис. 1. Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв.

Теплове навантаження для відводу теплоти від охолоджуваного яблучного соку [13]

$$Q_{я.с.} = G_{я.с.} \cdot c (t_1 - t_2) = 31 \cdot 3,2 \cdot (35 - 20) = 1488 \text{ кДж.} \quad (1)$$

Питома холодопродуктивність установки

$$q_0 = h_1 - h_4 = 340 - 268 = 72 \text{ кДж / кг.} \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії плівкового теплообмінника -  $\eta = 0,9$ .

Тепловий баланс плівкового охолоджувача:

$$Q_{я.с.} = Q_{охл.}, \text{ или } G_{я.с.} \cdot c (t_1 - t_2) = G_{охл.} q_0 \eta. \quad (3)$$

З виразу теплового балансу [14] отримуємо значення витрати охолоджувача

$$G_{охл} = \frac{G_{я.с.} \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{\eta \cdot (h_1 - h_4)} = 31/3600 \cdot 3,2 \cdot (35-20)/(0,9 \cdot 120) = 0,038 \text{ кг/с.} \quad (4)$$

За значенням масової витрати визначаємо швидкість потоку яблучного соку, при діаметрі циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини  $D = 0,2$  м:

$$W = \frac{G_{я.с.}}{\pi \cdot D^2 / 4} = (31/3600) \cdot 4 / (3,14 \cdot 0,2^2) = 0,27 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Розрахуємо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau, \quad (6)$$

де  $F$  – площа поверхні теплообміну,  $\text{м}^2$ ;  $Q_{охл}$  – витрата теплоти,  $\text{Дж/с}$ ;  $k$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Дж} / (\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t$  – різниця температур,  $\text{К}$ ;  $\tau$  – час охолодження,  $\text{с}$ .

$Q_{охл}$  тепловий ефект плівкового випарника, розраховуємо за спрощеною формулою:

$$Q_{охл} = G_{охл} q_0 \eta = 0,038 \cdot 72 \cdot 0,9 = 2,46 \text{ кДж/с.} \quad (7)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{я.с.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}}, \quad (8)$$

де  $\alpha_{я.с.}$  – коефіцієнт тепловіддачі яблучного соку.

Критерій Рейнольдса для потоку яблучного соку:

$$Re = \frac{W \cdot D \cdot \rho}{\mu} = 0,27 \cdot 0,2 \cdot 1051 / (109 \cdot 10^{-6}) = 502679 \quad (9)$$

де  $\rho_{я.с.}$  – щільність яблучного соку,  $1051 \text{ кг} / \text{м}^3$ ;

$\mu_{я.с.}$  – динамічна в'язкість яблучного соку,  $109 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

За значенням критерію Рейнольдса визначаємо критерій Прандтля і критерій Нусельта:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = (109 \cdot 10^{-6}) \cdot 3,2 \cdot 1051 / 0,554 = 0,69. \quad (10)$$

$$Nu = 0,021 \cdot (Re^{0,3} \cdot Pr^{0,4}) = 0,021 \cdot 502679^{0,3} \cdot 0,69^{0,4} = 66,369. \quad (11)$$

Звідси, знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки  $\alpha_1$  знаходимо за спрощеною формулою для плівкового випарника:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{\delta_{nl}} = 0,554/0,0002 = 2770 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (12)$$

де  $\delta_{nl}$  – товщина плівки яблучного соку на циліндричній оболонці зміювика випарника холодильної машини,  $\delta_{nl} = 0,002$  м.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої рідини  $\alpha_2$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda \cdot Nu}{D} = 0,0730 \cdot 400/0,2 = 145 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (13)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою (7):

$$k = 1/(1/2770 + 0,002/62 + 1/145) = 147 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тоді площа поверхні теплообміну циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини за формулою (6), буде:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau = 2460/(147 \cdot 45) \cdot 1 = 0,277 \text{ м}^2.$$

Висота циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини

$$H = (F - \pi \cdot D^2/4) / \pi \cdot D = (0,277 - 3,14 \cdot 0,2^2/4) / (3,14 \cdot 0,2) = 0,39 \text{ м}. \quad (14)$$

*Висновки.* Аналіз рівняння (8) показує, що для плівкового випарника коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки на порядок вище, ніж при об'ємній теплопередачі від соку до охолоджуючої рідини, тому доцільно використовувати охолоджувачі напоїв пропонованого типу.

Методика визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу може бути використана при проектуванні обладнання.

Запропонований варіант удосконалення способу підготовки напоїв до продажу з використанням плівкового випарника для швидкого охолодження фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад, на прикладі охолодження яблучного соку і пристрої охолоджувача напоїв проточного типу мають практичне значення і можуть бути використані у виробництві.

Література:

1. The Research of Heat Transfer Process During Freezing of Berries / I. A. Skrupskis, U. Gross, M. Rucins, A. Aboltins // Foodbalt-Proceedings-2008. P. 79-83.

2. Стручаєв М. І., Загорко Н. П., Тарасенко В. Г. Формування заморожених соків // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 1. С. 246-252.

3. Heat-Mass Transfer in Layer of Berries During Freezing Process. Refrigeration for Sustainable Development / A. Aboltins, S. Voca, R. Galoburda, U. Gross, I. Skrupskis. Book of Abstracts, Czech Republic, Prague, 2011. 342 p.

4. Ялчак В. Ф., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1. С. 113-118.

5. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Підвищення енергоефективності охолоджувача молока // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 243-247.

6. Стручаєв М. І., Змеєва І. М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 7. С. 21-27.

7. Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки / пер. с нем. Ф. И. Шубич. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 472 с.

8. Охолоджувач напоїв : пат. 129465 Україна : МПК А47J 31/50 (2006.01). № u201806145; заявл. 01.06.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

9. Устройство для охлаждения жидкости: пат. 2161290 Россия: МПК А01J9/04, В67D5/62; заявл. 16.03.2000; опубл. 27.12.2000.

10. Гинзбург А. С., Громов, А. И., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1980. 356 с.

11. Iljins U., Kampuse S., Aboltins A. Third Nordic-Baltic agrometrics conference // Proceedings of the Conference. 2001. 70-75.

12. Heat Transfer Process Investigation in Frozen Berries with Changing Storage Temperature / S. Voca, A. Aboltins, I. Skrupskis, U. Gross, R. Ziedins // Journal of Agricultural Engineering. 2010. Vol. XLVII. P. 3-8.

13. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / за ред. В. А. Дідура. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

14. Лабораторний практикум з холодильного устаткування для підготовки фахівців зі спеціальності обладнання переробних і харчових виробництв: навчальний посібник / В. Ф. Ялчак, М. І. Стручаєв, В. Г. Тарасенко, В. Г. Циб. Мелітополь.: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 203 с.

## ПЛЕНОЧНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ НАПИТКОВ

Стручаев Н. И., Тарасенко В. Г., Бондарь Д. В.

*Аннотация* – статья посвящена усовершенствованию технологии охлаждения напитков, предложен вариант усовершенствования способа с использованием пленочного теплообменника быстрого охлаждения, который можно использовать для продажи фруктовых, овощных, плодоовощных соков и других напитков, таких как пиво, квас, лимонад: приведена методика определения критериев пленочного теплообмена и основных конструктивных параметров охладителя напитков проточного типа.

### FILM BEVERAGE COOLER

M. Struchaiev, V. Tarasenko, D. Bondar

#### *Summary*

The article is devoted to the improvement of the technology of cooling drinks, a variant of the improvement of the method using a fast-film heat exchanger for sale of fruit, vegetable juices and other beverages, such as beer, lemonade is proposed. At present, research on new trends in the development of beverage coolers, which corresponds to the current level of development of the food industry, is being actively pursued.

One of them is the creation of high-speed cooling technology. An effective way of cooling beverages is film heat exchange. This method allows to accelerate the process as much as possible in combination with the increased simplicity of sanitary-hygienic processing of equipment.

The purpose of this work is to analyze the process of heat exchange in the beverage coolers and the methods for rapidly reducing the temperature in the coolers of the flow type drinks for fruit, vegetable and fruit juices and other beverages such as beer or lemonade.

Improvement of the method of cooling beverages with the rapid reduction of juice temperature, in which the design is simplified by introducing into the system of new structural elements, eliminating the intermediate heat carrier, increasing the efficiency of heat transfer, increasing the efficiency and reliability of the installation as a whole, simplifies the sanitary and hygienic treatment of equipment.

The proposed improvement of the method of preparation of beverages for sale with the use of a film evaporator for the rapid cooling of fruit, vegetable, fruit and vegetable juices on an example of cooling apple juice and devices of a coolant of beverage of a flow type are practical and can be used in production.

УДК 620.952:631.365

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-55-67

## СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СК-3

Бунецкий В. А., инженер

*ООО VM-Engineering, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко*

Бондаренко М. В., к. т. н.

*Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара*

Тел.: 050-502-66-46

**Аннотация** – в статье рассмотрены основные технические особенности и преимущества создания энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства на базе сушильного комплекса СК-3. Проанализированы основные ошибки использования бывших в употреблении линий сушки травяной муки и предложено современное и эффективное пеллетирующее оборудование. Сформулированы основные подходы и конструктивные особенности пеллетных линий в зависимости от сырьевой базы.

**Ключевые слова** – сушка биомассы, пеллеты, сушильный комплекс СК-3, экологичность производства, энергоэффективность, удельные производственные затраты, теплогенератор.

**Постановка проблемы.** В последние годы на территории Украины многие компании пытаются создать пеллетные производства. Попытки реализации таких проектов обусловлены:

– наличием разнообразной сырьевой базы в виде отходов деревообработки и сельского хозяйства;

– широким предложением бывшего в употреблении оборудования, первоначально предназначенного для сушки травяной муки;

– развитием альтернативной энергетики, в связи с постоянным удорожанием ископаемых видов топлива;

– бытующим у большинства инвесторов мнением о том, что для создания подобных производств не нужно разрабатывать сложного полномасштабного проекта с учетом знания технологии переработки биомассы и основ современного пеллетного производства. Они считают достаточным смонтировать оборудование



и надеются, что оно само выйдет на оптимальный режим эксплуатации.

Все эти массовые заблуждения не позволяют создать эффективное пеллетное производство. При этом на современном украинском рынке пеллетирующего оборудования практически отсутствуют предложения качественных сушилок для биомассы, сравнительно доступных по капитальным вложениям, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты, высокое качество готовой продукции и соблюдение экологических норм производства при заданной производительности.

*Анализ последних исследований.* В настоящее время широко распространенные аэродинамические и совмещенные измельчительно-аэродинамические сушилки требуют очень высоких удельных эксплуатационных затрат и отличаются низкими производительностью и качеством пеллетной продукции. Затраты на их приобретение практически никогда не окупаются. Причины такой низкой эффективности кроются в том, что они были разработаны еще во времена СССР в расчете на низкую стоимость энергоносителей и высокую стоимость тонины помола биомассы. В настоящее время эксплуатация таких комплексов приводит к чрезмерно высоким затратам топлива и электроэнергии, что вызвано несогласованностью режимов сушки и измельчения, высоким аэродинамическим сопротивлением и завышенными расходами сушильного агента. Энергетический анализ процесса производства твердого биотоплива показал, что затраты энергии на предварительную сушку с последующим измельчением сухой и более твердой биомассы значительно превышают количество энергии, необходимое на измельчение влажного сырья [5].

Поэтому в современных экономических условиях особенно остро стоит научно-техническая задача разработки технологии производства высококачественных поверхностно-остеклованных пеллет и проектная реализация на ее основе энергоэффективного сушильного комплекса, предназначенного для сушки измельченной биомассы различного происхождения: древесины (порубочных остатков), травы, отходов деревообработки и сельского хозяйства и др.

Основные ошибки, возникающие при эксплуатации оборудования, не учитывающего технологию переработки биомассы в биотопливо.

В последнее время отечественные производители биомассы часто используют трехходовую барабанно-аэродинамическую сушилку АВМ, для которой характерны высокие энергозатраты на единицу производимой продукции и повышенная пожароопасность. Так как сушилку харьковские разработчики изначально

предназначали для высокотемпературной сушки и дезинтеграции (разрыва органических клеток) мокрой травы, то она хорошо работает с мелким и очень влажным сырьем с относительной влажностью 70-80%. А древесные опилки в сушилках типа АВМ спекаются, попадая в струю пламени в сильном потоке воздуха. При этом, частицы древесины быстро высыхают, а их поверхность оплавляется и чернеет, а внутри они остаются влажными. По термодинамике этот процесс напоминает получение корочки на поверхности свежее выпеченного хлеба. Для анализа процессов, протекающих при высокотемпературной сушке смеси биополимеров с использованием подачи горячего воздуха, были использованы подходы к расчетам из статьи [7].

Крупные частицы биомассы, случайно попавшие в сушилку, скапливаются и налипают внизу барабана. Сила аэродинамического потока оттуда их не выносит. В результате, сырье часто пересушивают, что приводит к возгоранию или взрыву сушилки. При несоблюдении расчетных величин влажностного и фракционного состава сырья, а также его расхода, отсутствии автоматического контроля мощности сушилки, ее эксплуатация теряет стабильность и надежность.

Распространенная ошибка – сушка биомассы дымовыми газами, полученными в теплогенераторе, в котором сжигают влажное топливо (рис. 1). Такую технологию может использовать только нерадивый и технически неграмотный производитель пеллет. При этом происходят значительные выбросы в атмосферу загрязненных дымовых газов, что запрещено экологическим законодательством. Кроме того, высушиваемое сырье сильно загрязняется, что приводит к увеличению на 0,2-3 % зольности готовых пеллет. Те специалисты, которые профессионально разрабатывают проекты пеллетных производств «под ключ» и заботятся об экологии, качестве выпускаемых пеллет и стоимости готовой продукции, используют технологию сушки только чистым воздухом, соблюдают технологические режимы и так рассчитывают параметры работы оборудования, чтобы условия сушки биомассы не находились в зонах термодеструкции смеси органических полимеров.

На украинском рынке, к сожалению, пока не используют распространенные в развитых странах барабанные и ленточные сушилки для энергетической биомассы. Их также не производят в Украине. Предлагаемые у нас бывшие в эксплуатации сушилки сильно изношены, а новые зарубежные очень дороги, их стоимость составляет в среднем \$ 200 000-\$ 300 000 для производительности оборудования 1000 кг/час.



Рис. 1. Системы удаления влаги из биосырья.

В работах [1, 2, 3] были предложены инновационные подходы к переработке биомассы, при использовании которых вместо сушки биосырья были предложены его мойка, измельчение и последующее прессование с использованием сдвиговых деформаций слоев биополимера. В статье подробно рассмотрены подходы к разработке оборудования для производства поверхностно-остеклованных пеллет, созданные и внедренные украинским производителем, компанией VM-Engineering. Целью публикации является обоснование создания эффективного и быстро окупаемого производства пеллетной продукции с учетом имеющейся сырьевой базы. В основе производства лежит использование сушильного комплекса СК-3.

*Постановка задания.* Описание оборудования для производства поверхностно-остеклованных пеллет компании VM-Engineering - сушильного комплекса СК-3.

*Основная часть.* При разработке сушильного оборудования в основу проекта были положены такие основные требования, обязательные для создания эффективного пеллетного производства:

- низкие удельные эксплуатационные затраты на сушку биомассы;
- пожаробезопасность;
- интегрируемость сушильного комплекса с любой производственной пеллетной линией;
- стабильности работы вне зависимости от сезона;
- настраиваемость системы управления на работу с сырьем различного происхождения и качества;
- производство качественного, незагрязненного продукта, с возможностью сертификации по европейским стандартам.

Также при разработке проекта сушильного комплекса были учтены основные технологические ошибки, с которыми сталкиваются более 70 % пеллетных производств, работающих на старом

«советском» оборудовании. Срок окупаемости сушильного комплекса существенно сокращен, благодаря особенностям конструкции и режимов работы барабанной сушилки, а также уникальному теплогенератору, который снабжен футерованной камерой сгорания и буферным теплообменником, что позволяет избежать дополнительного загрязнения оборудования и окружающей среды.

Преимущества сушильного комплекса СК-3, по сравнению с самой популярной в Украине барабанной сушилкой АВМ-1.5:

– на 1 тонну готовой продукции потребляет электроэнергии на 100 кВт меньше;

– потребляет на 10 % меньше сырья, что составляет до 800 тонн сырья в год;

– для грануляции от 1 тонны биомассы в час на СК-3 нужно использовать только один гранулятор ОГМ-1.5. Для сравнения, для работы линии на базе АВМ необходимо использовать два аналогичных гранулятора;

– снижен износ матриц гранулятора за счет повышения реакционной способности сырья;

– инновационные технологические решения, реализованные в сушильном комплексе СК-3, позволяют снизить себестоимость готовой продукции на 30 % и улучшить ее качественные показатели. Использование СК-3 позволяет получать чистые пеллеты класса ENPlus, что увеличивает прибыль от продажи пеллет на 50 %...300 %.

Конструкционные узлы комплекса СК-3 представлены на рис. 2, технологическая и функциональная схема автоматизации комплекса СК-3 - на рис. 3. Обоснование энергоэффективных режимов работы барабанной сушки комплекса производства композиционного биотоплива приведено в [6].

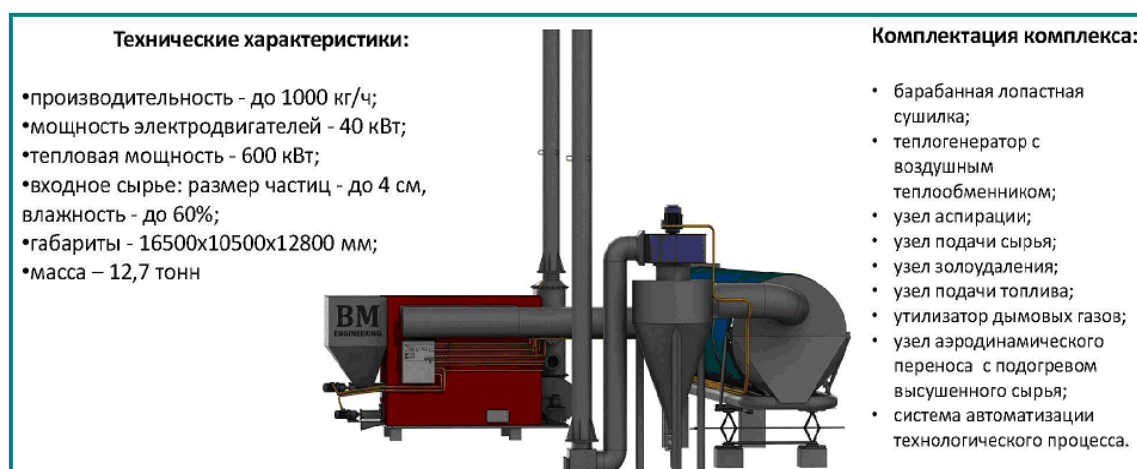
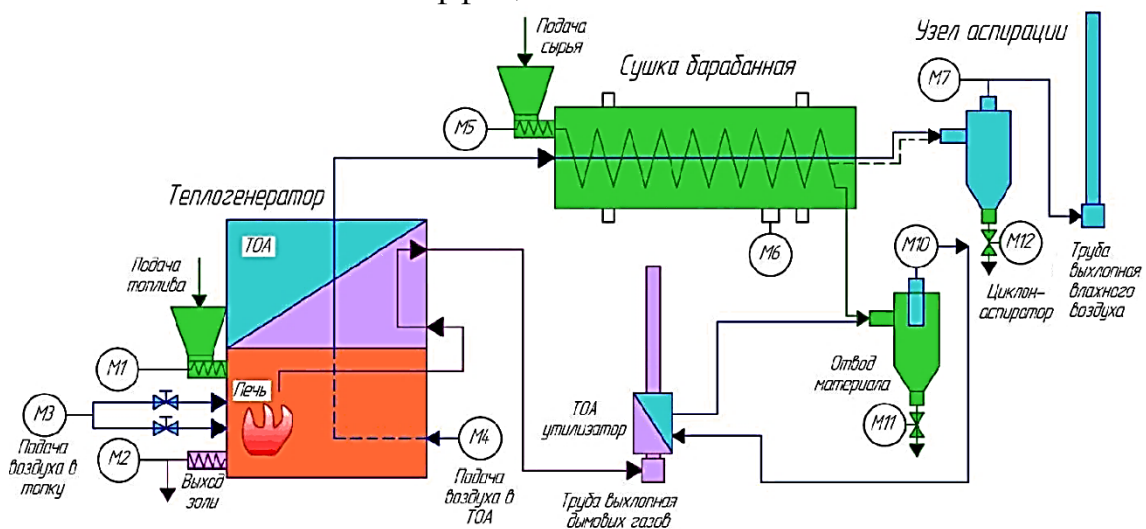


Рис. 2. Общий вид сушильного комплекса СК-3 и перечень его основных узлов.

Сушильный комплекс СК-3 (рис. 1) состоит из узла подачи сырья, оригинального теплогенератора, барабанной сушилки

производства BM–Engineering, теплоутилизатора, системы пневмотранспорта, системы автоматизации процесса сушки. Измельченная биомасса поступает в барабанную сушилку через узел подачи сырья. Высушенное до нужной влажности сырье пневмотранспортом подают на прессование. В процессе пневмотранспортировки к нему подводят тепло, отведенное от отработанных дымовых газов в теплоутилизаторе. Предварительный нагрев сырья перед прессованием позволяет увеличить реакционную способность частиц биомассы и уменьшить их влагоразность. Топливо (отходы биомассы) в теплогенератор подают через узел подачи по мере необходимости. Конструкция топki теплогенератора обеспечивает высокий коэффициент использования топлива.



М1 – бункер теплогенератора	М5 – бункер сушки	М9 – конвейер подачи сырья
М2 – выход золы	М6 – сушка барабанная	М10 – отвод сырья воздушный
М3 – подача воздуха в топку	М7 – циклон-аспиратор	М11 – шлюз отвода материала
М4 – подача воздух в ТОВА	М8 – конвейер подачи топлива	М12 – шлюз циклона аспирации

Рис. 3. Технологическая схема автоматизации комплекса СК-3.

Определяющими характеристиками производительности барабанных сушильных комплексов являются тепловая мощность теплогенератора и время пребывания сырья в сушильном барабане. В комплексе СК-3 использован барабан длиной 11 метров и диаметром 1700 мм с возможностью оперативного регулирования угла наклона барабана. Изменение угла наклона влияет на время пребывания сырья в барабане. Это время необходимо рассчитывать в зависимости от фракционного состава и влажности сырья. Таким образом, управление степенью влажности сырья после сушки осуществляют не за счет

регулювання кількості оборотів барабана, що негативно впливало б на ефективність сушки (сировина сушить, коли вона перебуває в польоті всередині барабана), а за рахунок регулювання швидкості переміщення сировини вздовж барабана.

В сушильному комплексі СК-3 ми пропонуємо застосовувати теплогенератор з футерованою печюю та теплообмінником. Печь з об'ємом топки  $0,7 \text{ м}^3$  і потужністю до 1200 кВт здатна спалювати до 300 кг сухої деревини в годину. Вона обладнана бункером для щепи з шнековими подачами та системою відводу золи.

Для нагрівання сушильного агента, чистого повітря, використовують модульний теплообмінник з оребрених труб, який за потреби можна легко розібрати та очистити від налиплих частинок біомаси. Перед надходженням в теплообмінник повітря нагрівається, циркулюючи в каналах під теплоізолюючою обшивкою теплогенератора. Таким чином, зменшують втрати тепла. Також при розробці сушильного комплексу враховувалася важливість дотримання температурного режиму сушки для отримання якісного пеллетного палива. Температура поверхні матеріалу не повинна перевищувати  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , щоб не викликати частинної торрефікації (температурного розкладання, потемніння поверхні сировини) при збереженні вологи всередині частинок матеріалу.

Відпрацьовані димові гази з теплогенератора надходять в теплоутилізатор. Золу від згорілого палива видаляють через спеціальний вузол золоудалення. Рекуперація теплоти відпрацьованих димових газів та використання її для попереднього нагрівання сировини перед пресуванням, оригінальна конструкція теплогенератора та барабанної сушилки забезпечують високу енергоефективність сушильного комплексу СК-3.

Всім процесом керує система автоматизації, участь оператора мінімальна, він контролює тільки наявність сировини в вузлі подачі. Автоматика теплогенератора (рис. 3) виконує функції:

- 1) контролю температури в зоні горіння;
- 2) контролю температури на виході з димової труби;
- 3) контролю температури сушильного агента;
- 4) регулювання потужності вентилятора подачі повітря в топку;
- 5) регулювання швидкості обертання шнека подачі палива.

Таким чином, досягають оптимального режиму горіння та економлять значительну кількість сировини, йдущої на паливо (рис. 4).

Для запобігання виносу в атмосферу важливої для якісного пресування мелкодисперсної фракції, застосовують вузол аспірації, який збирає пил [4], унесену потоком сушильного агента з сушильного барабана та повертає її в технологічний процес.

Узел отвода тепла и дополнительного подогрева материала, в котором материал прогревают и не дают ему остыть перед грануляцией, проектируют в соответствии с конкретными специфическими потребностями производственного процесса пеллетирования. Такие подходы к разработке проекта позволяют обеспечить повышенную производительность грануляторов и стабилизировать их производительность вне зависимости от сезона. Например, гранулятор ОГМ-1,5 будет иметь стабильную производительность 950-1100 кг/ч при работе с матрицей с диаметром отверстий 6 мм, вне зависимости от сезона, что на 60-90% выше его производительности в обычных технологических цепочках (рис. 5).

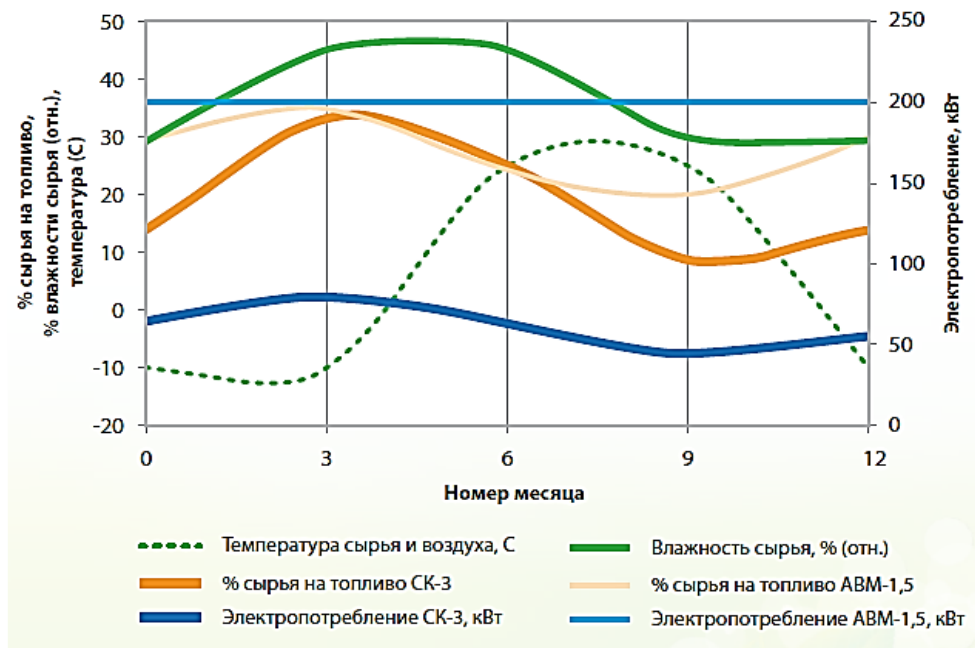


Рис. 4. Сезонные изменения тепло- и электропотребления при производстве биотоплива.

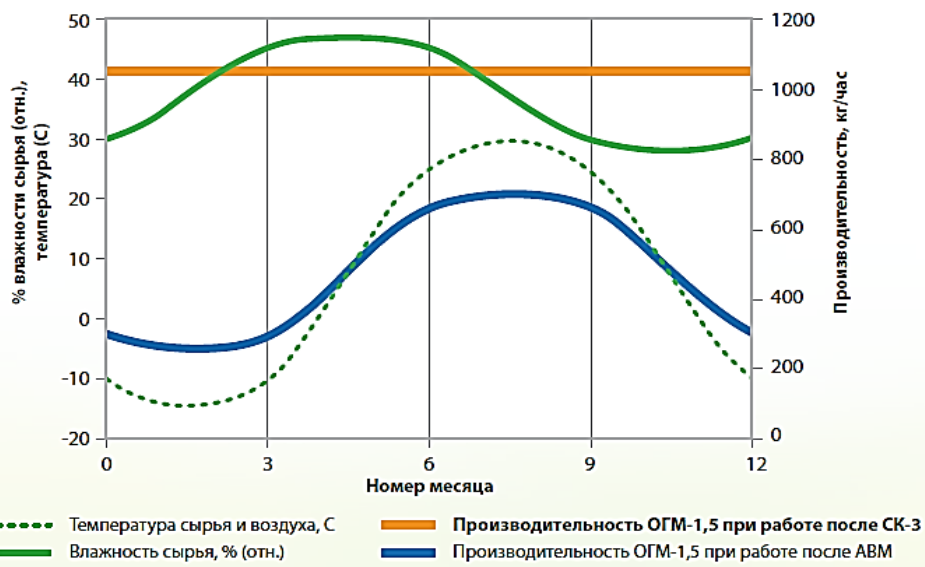


Рис. 5. Сезонная компенсация производительности гранулятора ОГМ-1,5 при работе в линии, укомплектованной СК-3 или АВМ.

Все узлы сушильного комплекса СК-3 собраны на собственных рамах (рис. 6). Их можно транспортировать отдельными модулями двумя машинами типа «Еврофура» без использования спецтранспорта. Это позволяет выполнить поставку оборудования на объект в Украине за один день и провести монтаж сушильного оборудования за две рабочие смены при наличии необходимых фундаментов и коммуникаций (рис. 6). Разработанная технология имеет ряд эксплуатационных и экономических преимуществ (табл. 1).



Рис. 6. Фотографии сушильного барабана и теплогенератора в процессе производства и монтажа.

Таблица 1 – Преимущества линии поверхностно-остеклованных пеллет и барабанного сушильного комплекса СК-3

Техническое решение	Эксплуатационное преимущество	Экономическое преимущество
Наличие теплообменника дымовых газов	Отсутствует озоление биомассы дымовыми газами	Возможность получать белые пеллеты малой зольности класса A1Plus
	Исключение возможности контакта горящих продуктов сухим сырьем	Пожарная безопасность
Длинная однопроходная сушка	Нет скопления сухих веществ и древесных газов в сушке	
Прогрев сырья на протяжении всего процесса	Повышение химической реакционной способности сырья	Получение поверхностно-остеклованных пеллет
		Повышение продуктивности гранулятора на 30...60 % (до 850... 1000 кг/ч вместо 550...650 кг/ч на ОГМ 1,5)
	Компенсация климатических условий	Продление срока службы матрицы гранулятора на 20%
Высокий уровень автоматизации	Снижение влияния человеческого фактора на	Стабильная работа комплекса вне зависимости от сезона
		Стабильная работа комплекса



Техническое решение	Эксплуатационное преимущество	Экономическое преимущество
процесса	процесс эксплуатации оборудования	
	Регулировка режимов работы в 4-х точках	Обеспечение температурного режима сушки
Модульность конструкции	Возможность быстрого монтажа оборудования	Уменьшение затрат на логистику и при перевозке и монтаже
	Перевозка на 2-х машинах типа "Еврофура"	
Возможность работы в противотоке	Вариативность режимов сушки	Возможность увеличения производительности при работе с влажным сырьем
Возможность контроля угла наклона барабана	Регулировка времени нахождения сырья в барабане	Возможность работы с разным фракционным составом и влажностью сырья
Теплообменник-утилизатор дымовых газов	Максимальная утилизация теплоты дымовых газов	Экономия топлива
Максимальное предварительное измельчение сырья	Возможность качественной сушки при низкотемпературных режимах	
	Упрощение аэродинамического переноса частиц сырья	
Аэродинамический перенос отдельным вентилятором	Нет привязки мощности основного вентилятора к транспортировочным потребностям	Возможна регулировка режимов
Двухстадийная система аспирации	Пассивный и активный циклон. Сбор и возврат в систему активных склеивающих веществ - древесной пыли	Уменьшение потерь сырья
		Повышение качества (плотность, твердость) пеллет
Утепленный барабан		Экономия топлива, безопасность при эксплуатации
Возможность модульной регулировки секций теплообменника	Регулировка номинальной мощности теплогенерации	Увеличение эффективности комплекса на малых и больших производительностях сушки

При ответственном подходе к проектированию технологической линии по производству пеллет, и принимая во внимание то, что каждая такая линия - это немалые капитальные затраты, авторы, как специалисты по комплексному проектированию и разработчики технологии влажного прессования поверхностно-остеклованных пеллет, рекомендуют доверять проектную работу профессионалам, в совершенстве владеющим технологией производства и планирования бизнес-процессов. Именно таким

является путь к построению и развитию успешного бизнеса в сфере пеллетного производства.

Мы продолжаем постоянно совершенствовать конструкцию и основные элементы нашего сушильного комплекса СК-3 и всегда выполняем индивидуальные проекты пеллетных производств или модернизации существующих линий с учетом вида и качества сырья, возможностей его поставки. Использование наших проектов и технологий – гарантия эффективного и быстро окупаемого производства.

*Выводы.* Впервые разработаны подходы к созданию по индивидуальным проектам энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства, в основе которого лежит метод влажного прессования и расчет технологических режимов, учитывающих именно вид перерабатываемой биомассы и производительность оборудования. Предлагаемые технические решения обеспечивают более полную переработку сырья без потерь его самой ценной мелкой фракции.

Наши дальнейшие разработки будут направлены на создание замкнутых комплексных энергокооперативов на основе пяти переделов биомассы, которые из собственного сырья будут производить топливные пеллеты и генерировать из них тепловую и электрическую энергию для собственных нужд и энергорынка.

#### Литература:

1. *Бунецкий В.* Тверде біопаливо. Необхідність галузевого рішення // Проблеми теплофізики та теплоенергетики: матеріали X Міжнар. конференції (м. Київ, 23-26 травня 2017 р.). URL: <http://ittf.kiev.ua/konferenciy/2017-nan-ukra%D1%97ni-ye-organizatorom-abo-spivorganizatorom/x-mizhnarodna-konferenciya-problemi-teplofiziki-ta-teploenergetiki/programa> (дата звернення: 20.11.2018).

2. *Войтов В. А., Бондаренко М. В., Бунецкий В. А.* Переработка биомассы в твердое биотопливо второго поколения // Вестник ХНТУСХ. Харків, 2014. Вып. 155. С. 20-31.

3. *Войтов В. А., Бондаренко М. В., Бунецкий В. А.* Переработка органических полимеров растительного происхождения в твердое топливо // Вестник ХНТУСХ. Харків, 2013. Вып. 143. С. 38-45.

4. Циклон малого диаметра с активным инерционным пылеуловителем ЦсАИП-4+. Руководство по эксплуатации. ТУ У 29.5-2571100774-001:2011. 24 с.

5. Енергетичний аналіз виробництва твердого біопалива / *Ю. Ф. Снежкін* та ін. // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Т. 45, № 3. С. 187-190.

6. *Корінчук Д. М., Снежкін Ю. Ф., Бунецкий В. О.*

Обґрунтування енергоефективних режимів роботи барабанної сушарки комплексу виробництва композиційного біопалива // Scientific Works. 2018. Т. 82, № 1. С. 81.

7. Korinchuk D. N., Snezhkin Yu.F. Simulation of the High-Temperature Drying of a Composite Mixture in an Air Drier for Production of a Biocombustible // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018. Т. 91, № 5. P. 1155-1164.

## **СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕЛЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СК-3**

Бунецький В. А., Бондаренко М. В.

*Анотація* – розроблені вперше підходи до створення за індивідуальними проектами енергоефективного та окупного пелетного виробництва, у підґрунті якого лежить метод вологого пресування та розрахунок технологічних режимів, що ураховують саме вид перероблюваної біомаси та продуктивність обладнання. Запропоновані технічні рішення забезпечують більш повне перероблення сировини без втрат його найціннішої мілкої фракції.

## **EFFICIENT PRODUCTION CAPACITY BASED PELLET DRYING COMPLEX SC-3**

V. Buneckiy, M. Bondarenko

### *Summary*

**In today's economic conditions, it is urgent to solve the scientific and technical problems related to the development of high-quality surface-glazed pellet's production technology and to correspond on its basis project implementation for energy-efficient drying complex designed for different origin chopped biomass drying: wood, grass, wood-processing waste and agriculture, etc. Therefore, the purpose of modern biomass drying technology developing is precisely the further application of it in the drying complex СК-3. The main methods proposed for use in biomass drying technology were developed based on detailed analysis of the main mistakes in used grass-fiber drying lines using results. The project СК-3 was based on the basic requirements obligatory to effective pellet production creation: low for biomass drying specific operating costs; fire safety; drying complex integrability with any line for pellet's production; regardless of the**

**season work stability; control system customizability for work with different raw materials; production of high-quality, unsoiled product, with certification possibility according to European standards. The result of the work is in proposed by authors modern and effective drying equipment proposed, the basis of which is the following basic requirements that are required for modern pellet production: low specific operating costs, fire safety, the possibility of embedding the drying complex to any palletizing line, seasonal work stability, adjustment of the control system to work with different raw materials. All these requirements are fully consistent with the modular design of the drying complex СК-3.**

**Conclusions. Developed for the first time approaches to the creation of individual projects for energy-efficient and payback pellets based on the method of wet pressing and calculation of technological regimes that take into account the type of processed biomass and productivity of equipment. The proposed technical solutions provide a more complete raw materials recycle without losing its most valuable fine fraction.**

УДК 621.225.001.4

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-68-85

## ПОЛІПШЕННЯ ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТАРНИХ ГІДРОМАШИН

Панченко А. І., д. т. н.,

Волошина А. А., д. т. н.,

Панченко І. А., інженер

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-04-42

Засядько А. І., інженер

*ВСП «Бердянський коледж ТДАТУ»*

**Анотація** – для вирішення проблеми підвищення технологічності виготовлення елементів розподільної системи планетарного гідромотора обґрунтована форма вікон рухомого та нерухомого розподільників. Розроблено розрахункову схему, математичну модель та алгоритм розрахунку, що дозволяють досліджувати вплив зміни геометричних параметрів розподільної системи з вікнами, виконаними у вигляді кола, на пропускну здатність планетарного гідромотора. Встановлено, що в залежності від кінематичної схеми розподільної системи площа прохідного перетину розподільної системи змінюється. При цьому змінюється і амплітуда коливань площі прохідного перетину. При використанні розвантажувальних вікон розподільника в якості додаткових робочих вікон, пропускну здатність збільшується, а амплітуда коливань – зменшується. Критичним параметром, що визначає працездатність розподільної системи, є коливання площі прохідного перетину. Тому, при проектуванні розподільних систем рекомендується використання додаткових розвантажувальних вікон в якості робочих.

**Ключові слова** – планетарний гідромотор, пропускну здатність, розподільна система, розподільні вікна, пропускну здатність, кінематична схема.

**Постановка проблеми.** Природна тенденція до розширення сфери застосування мехатронних систем з гідравлічним приводом активних робочих органів самохідної техніки викликає необхідність створення нових і вдосконалення існуючих гідромашин [1, 2]. У гідроприводах мехатронних систем найчастіше застосовуються планетарні гідромашини. Під планетарними гідромашинами маються на увазі гідромашини, що працюють за принципом планетарного

редуктора, аналогічні орбітальним, героторним, героллерним і т. п. [3-7]. Основними вузлами, що визначають працездатність планетарних гідромашин є витискувальна та розподільна системи [8-14]. Якщо питанням проектування елементів витискувальної системи присвячений ряд робіт [10-12, 14], то питання проектування елементів розподільної системи залишаються мало дослідженими.

Розподільна система планетарної гідромашини являє собою пристрій для подачі робочої рідини в робочі камери в строго визначеній послідовності, в залежності від взаємного розташування роторів витискувальної системи. Від конструкції та виконання елементів розподільної системи залежать такі параметри гідромашини, як пропускна здатність, гідравлічний та об'ємний ККД, максимальне і мінімальне число обертів та витрата робочої рідини.

Таким чином, проведення досліджень пов'язаних з підвищенням технологічності виготовлення елементів розподільних систем є актуальним завданням, спрямованим на поліпшення вихідних характеристик планетарних гідромашин.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз проведених досліджень, пов'язаних з проектуванням гідромашин [3-7], дозволяє зробити висновок, що вони виконувалися без належного врахування низки важливих чинників. Не розглянута робота гідромашини з урахуванням зміни геометричних параметрів рухливого та нерухливого розподільників, кінематичної схеми розподільної системи та форми розподільних вікон.

В даний час велика увага приділяється проектуванню гіпоциклоїдальних поверхонь роторів героторних гідромашин [10, 11]. Запропоновано математичну модель, що описує зміну навантажень в зубчастому зачепленні [10]. Розроблено програму для проектування гіпоциклоїдальних поверхонь, що враховує рівняння гідродинаміки руху рідини в робочих камерах [11]. Досліджено питання пов'язані із зносом робочих поверхонь роторів орбітальних гідромоторів [12]. Обґрунтовано граничні відхилення похибки форми зубчастих поверхонь роторів [13]. Питання, пов'язані з течією робочої рідини при підводі (відводі) до робочих камер – не розглядалися.

Розроблено математичні моделі [14-17], які враховують сили, що діють в зубчастому зачепленні героторного насоса і компресійний стан робочої рідини [15], а також рівняння нерозривності потоків і витрати через всі елементи мехатронної системи з гідравлічним приводом та особливості робочої рідини [15-17]. Розглянуто сили і моменти, які впливають на зубчасту пару роторного трохойдального насоса [18]. Розроблено рекомендації для проектування героторних насосів [19]. Запропоновано модель втрат енергії в загальній гідравлічній схемі з режимом, що перемикається та акцентом на втрати, що створені стисливістю робочої рідини [20], яка отримала

експериментальне підтвердження [21]. Не розглянуто принцип переміщення робочої рідини через елементи розподільної системи.

Запропонована методика проектування роторів героторних машин [22] дозволила розробити технологічний процес виготовлення роторів. Обґрунтовано методику моделювання зубчастих передач на основі методу математичного моделювання векторних замкнутих контурів [23]. Питання проектування розподільної системи не розглядалися.

В роботі [24] запропонована універсальна модель мехатронної системи з орбітальним гідромотором. Не розглянуто вплив конструктивних особливостей розподільної системи орбітального гідромотора на його вихідні характеристики.

Представлена повна тривимірна модель CFD [25] для орбітального героторного гідромотора, що враховує об'єм робочої рідини в робочих камерах, який динамічно змінюється. Розглянуто геометричні, математичні [26] та гідродинамічні моделі [27], які дозволяють дослідити вплив геометричних параметрів проточних частин героторного насоса на його вихідні характеристики. Не досліджена течія робочої рідини в проточних частинах орбітальної гідромашини.

Проведено аналіз пульсацій подачі робочої рідини шестеренним насосом з використанням математичного векторного моделювання [28]. Запропоновано уточнену залежність миттєвої теоретичної продуктивності шестеренного качаючого вузла від кута повороту шестерні. Не розглянуто пульсації рідини в планетарних (орбітальних) гідромашинах.

Однією з систем, що лімітує ефективність роботи планетарної гідромашини є її розподільна система [29, 30]. Розглянута модель робочих процесів торцевої розподільної системи [8, 9], дозволяє досліджувати вплив її конструктивних параметрів на вихідні характеристики планетарного гідромотора в процесі експлуатації. Найбільше застосування в планетарних гідромашинах має розподільна система з вікнами виконаними у вигляді сегмента [7, 9]. Необхідно відзначити, що сегментні вікна мають досить складну та трудомістку технологію виготовлення, тому перед виробниками гідромашин дуже гостро стоїть питання, пов'язане з пошуком нових форм робочих вікон розподільної системи з більш технологічною формою, наприклад, у вигляді кола. Для вирішення цього завдання необхідно розробити математичний апарат, алгоритм розрахунку та дослідити вплив зміни геометричних параметрів розподільної системи з круглими вікнами на вихідні характеристики планетарної гідромашини.

*Формулювання цілі дослідження.* Поліпшення вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом підвищення технологічності виготовлення елементів його розподільної системи.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

– розробити розрахункові схеми, математичну модель та алгоритм розрахунку, що дозволять досліджувати вплив зміни геометричних параметрів розподільної системи з вікнами круглої форми на вихідні характеристики планетарного гідромотора;

– обґрунтувати вихідні дані та початкові умови для моделювання роботи розподільної системи планетарного гідромотора;

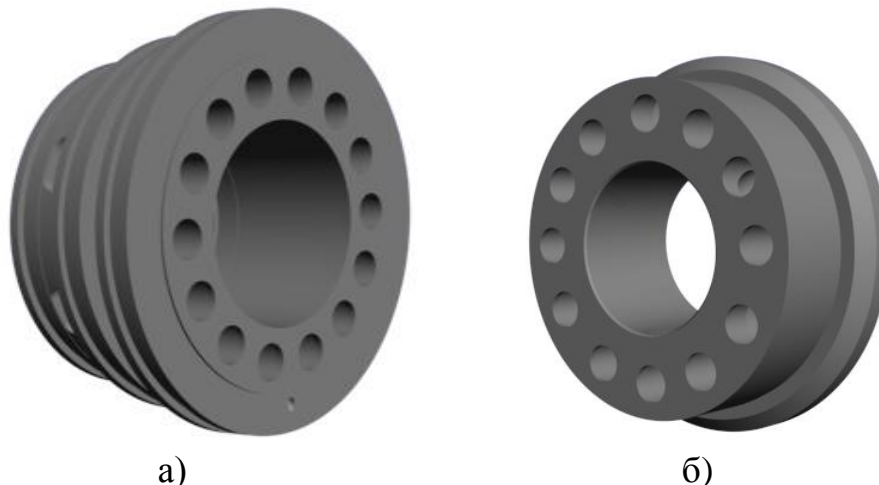
– дослідити взаємозв'язок геометричних параметрів розподільної системи з круглими вікнами та вихідних характеристик планетарного гідромотора.

*Основна частина.* Однією з основних систем, що лімітують роботу планетарного гідромотора, є його розподільна система. Під планетарним гідромотором домовимося розуміти гідромотор, який працює за принципом планетарного редуктора [3-6]. Роль водила в планетарному гідромоторі виконує гідравлічне поле, що обертається та створене його розподільною системою. Розподільна система такого гідромотора складається з нерухомого та рухомого розподільників. Нерухомий розподільник (рис. 1, а) служить для підведення (відведення) робочої рідини до гідромотору та встановлюється нерухомо щодо його корпусу. Рухомий розподільник (рис. 1, б) служить для підведення (відведення) робочої рідини до робочих камер гідромотора та встановлюється на валу і здійснює обертальний рух відносно нерухомого розподільника.

Одним з основних параметрів, що обумовлюють працездатність розподільної системи є площа прохідного перетину, яка визначає кількість робочої рідини, яка проходить через гідромотор. Площа прохідного перерізу являє собою суму площ перекриття вікон нерухомого розподільника з вікнами рухомого та залежить від кінематичної схеми розподільної системи (кількості вікон).

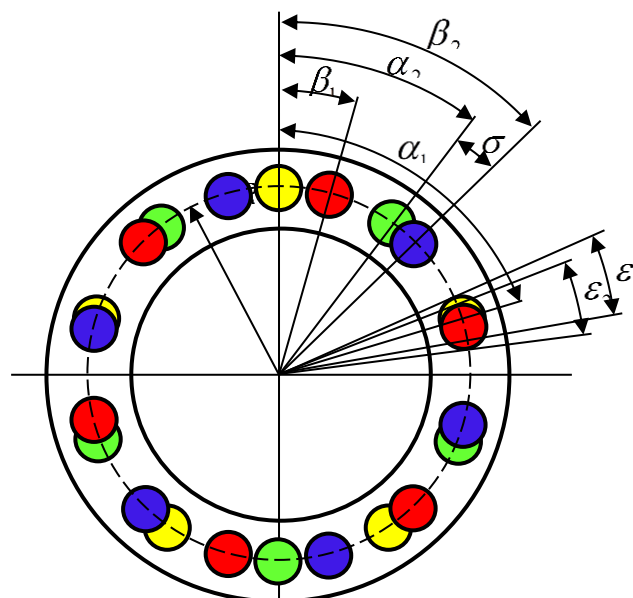
На торцевій поверхні нерухомого розподільника виконані вікна нагнітання і зливу. З цими вікнами контактують робочі і розвантажувальні вікна рухомого розподільника, розташовані на його торцевій поверхні. Накладення робочих і розвантажувальних вікон рухомого розподільника на вікна нагнітання і зливу нерухомого розподільника утворюють зону розподілу та відображають схему миттєвого положення фаз розподілу робочої рідини (рис. 2). На розрахунковій схемі (рис. 2) показано утворення зон нагнітання і зливу при підводі (відводі) робочої рідини до робочих камер гідромотора.





а) – нерухомий розподільник; б) – рухомий розподільник.

Рис. 1. Елементи розподільної системи планетарного гідромотора.



- – робочі вікна рухомого розподільника;
- – розвантажувальні вікна рухомого розподільника;
- – вікна нагнітання нерухомого розподільника;
- – вікна зливу нерухомого розподільника.

Рис. 2. Розрахункова схема миттєвого положення фаз розподілу робочої рідини розподільної системи з круглими вікнами.

За аналогією роботи розподільної системи з сегментними вікнами [8] між кількістю робочих вікон рухомого  $Z_1$  і нерухомого  $Z_2$  розподільників існує взаємозв'язок:  $Z_2 = 2Z_1 + 2$ . При цьому  $Z_2 = 2Z$ , де  $Z$  – кількість циклів, обумовлена кінематичною схемою розподільної системи. Відомо [9], що кількість циклів не може бути менше трьох, тобто  $Z \geq 3$ .

Співвідношення кількості вікон нагнітання  $Z_2/2$  нерухомого

розподільника до кількості робочих вікон  $Z_1/2$  рухомого розподільника визначає кінематичну схему розподільної системи.

Кут між робочими вікнами рухомого розподільника (рис. 2) в статичному положенні дорівнює  $\alpha = 2\pi / Z_1$ , а кут між вікнами нерухомого розподільника –  $\beta = 2\pi / Z_2$ .

При нумерації вікон домовимося вважати першим вікном для рухомого розподільника вікно, яке розташоване у верхній частині схеми на вертикальній осі (рис. 2), а першим вікном нерухомого розподільника – вікно, яке розташоване праворуч від першого вікна рухомого розподільника. Подальша нумерація вікон рухомого і нерухомого розподільників здійснюється за годинниковою стрілкою. Причому, вважаємо вікна рухомого розподільника з непарними номерами робочими, а з парними – розвантажувальними, а вікна нерухомого розподільника з непарними номерами – вікнами нагнітання, з парними – вікнами зливу.

Кут розташування першого робочого вікна  $\alpha_1$  рухомого розподільника визначається за виразом:

$$\alpha_1(t) = 2\pi \cdot n \cdot t, \quad (1)$$

а поточні кути розташування наступних вікон рухомого розподільника будуть дорівнювати:

$$\alpha_2(t) = \alpha_1(t) + \alpha, \dots, \alpha_i(t) = \alpha_{i-1}(t) + \alpha. \quad (2)$$

Кут розташування першого вікна нагнітання  $\beta_1$  нерухомого розподільника визначається за виразом:

$$\beta_1 = \frac{\pi}{Z_2}, \quad (3)$$

а поточні кути розташування наступних вікон нерухомого розподільника будуть дорівнювати:

$$\beta_2 = \beta_1 + \beta, \dots, \beta_i = \beta_{i-1} + \beta. \quad (4)$$

Кут між поточними центрами вікон рухомого і нерухомого розподільників, які знаходяться в перекритті, визначається за виразом:

$$\sigma_i(t) = |\beta_i - \alpha_i(t)|, \quad (5)$$

причому для перекриття розподільних вікон повинна виконуватися умова  $\sigma_i \leq \beta / 2$ . (6)

При визначенні кутів, що обмежують геометричні параметри вікон рухомого  $\varepsilon_1$  і нерухомого  $\varepsilon_2$  розподільників, необхідно

дотримуватися умови  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2\pi / Z_2$ . Тоді, мінімальний кут, що обмежує геометричні параметри вікон рухомого і нерухомого розподільників, буде дорівнювати:

$$\varepsilon_{1\min} = \varepsilon_{2\min} = 2\arcsin \frac{d}{2R}, \quad (7)$$

де  $d$  – мінімально можливий діаметр вікна, вибирається виходячи з конструктивних особливостей;  $R$  – радіус розташування розподільних вікон.

Максимальний кут, що обмежує геометричні параметри вікон рухомого і нерухомого розподільників, дорівнює:

$$\varepsilon_{1\max} = \varepsilon_{2\max} = \frac{2\pi}{Z_2} - \varepsilon_{1\min}. \quad (8)$$

Виходячи з цього радіус вікна рухомого розподільника дорівнює:

$$r_1 = R \cdot \sin \frac{\varepsilon_1}{2}, \quad (9)$$

а радіус вікна нерухомого розподільника:

$$r_2 = R \cdot \sin \frac{\varepsilon_2}{2}. \quad (10)$$

Площа перекриття  $S$  вікон нерухомого розподільника вікнами рухомого визначається на підставі розрахункової схеми (рис. 3). Поточна площа перекриття  $S_i$  вікна нагнітання нерухомого розподільника робочим вікном рухомого розподільника відповідає площі фігури  $ABCD$ .

$$S_i = S_{1i} + S_{2i}, \quad (11)$$

де  $S_{1i}$  – площа сегмента  $ABC$ ;  $S_{2i}$  – площа сегмента  $ADC$ .

Площа сегмента  $ABC$  дорівнює різниці площ сектора  $AO_1C$  і трикутника  $\Delta AO_1C$ :

$$S_{1i} = S_{AO_1C} - S_{\Delta AO_1C}. \quad (12)$$

З рис. 3 площа сектора  $AO_1C$  дорівнює:

$$S_{AO_1C} = \frac{1}{2} r_1^2 \cdot \varphi_{1i},$$

а площа трикутника  $\Delta AO_1C$ :

$$S_{\Delta AO_1C} = \frac{1}{2} r_1^2 \cdot \sin \varphi_{1i},$$

де  $\varphi_{1i}$  – кут, що обмежує величину сектора  $ADC$ .

Тоді,

$$S_{1i} = \frac{r_1^2}{2} (\varphi_{1i} - \sin \varphi_{1i}). \quad (13)$$

Для визначення кута  $\varphi_{1i}$ , що обмежує величину сектора  $ABC$  розглянемо  $\Delta AFO_1$ :

$$O_1F = r_1 \cdot \cos \frac{\varphi_{1i}}{2},$$

а з  $\Delta OFO_1$ :

$$O_1F = R_1 \cdot \sin \frac{\sigma_i}{2}.$$

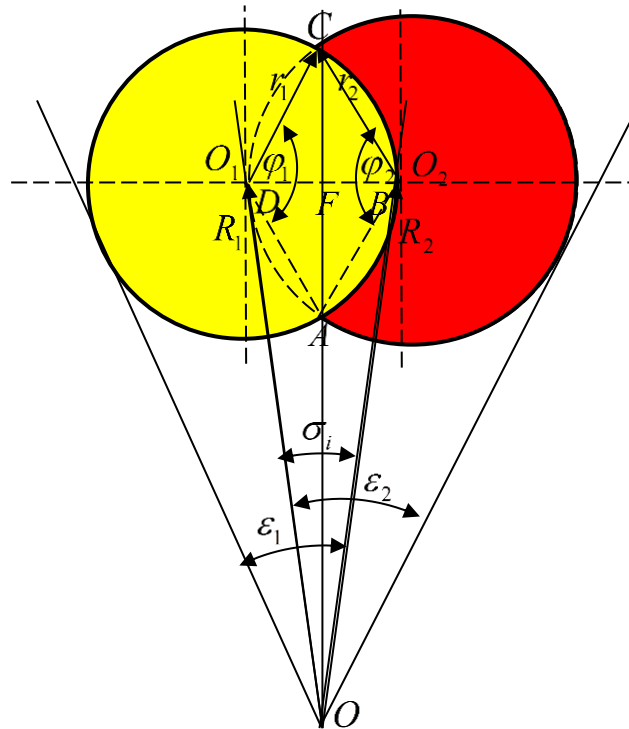


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення площі перекриття розподільних вікон.

Тоді, кут  $\varphi_{1i}$ , буде дорівнювати:

$$\varphi_{1i} = 2 \arccos \left( \frac{R_1}{r_1} \cdot \sin \frac{\sigma_i}{2} \right). \quad (14)$$

Площа сегмента  $ADC$  визначається аналогічно і дорівнює:

$$S_{2i} = \frac{r_2^2}{2} (\varphi_{2i} - \sin \varphi_{2i}), \quad (15)$$

а кут  $\varphi_{2i}$ , що обмежує величину сектора  $ADC$  буде дорівнювати:

$$\varphi_{2i} = 2 \arccos \left( \frac{R_2}{r_2} \cdot \sin \frac{\sigma_i}{2} \right). \quad (16)$$

Тоді, площа перекриття  $S_i$  вікна нагнітання нерухомого розподільника робочим вікном рухомого розподільника дорівнює:

$$S_i = \frac{r_1^2}{2}(\varphi_{1i} - \sin \varphi_{1i}) + \frac{r_2^2}{2}(\varphi_{2i} - \sin \varphi_{2i}). \quad (17)$$

У разі однакових геометричних параметрів вікон рухомого і нерухомого розподільників, тобто  $r_1 = r_2 = r$ ,  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ , площа прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами буде дорівнювати:

$$S(t) = \sum S_i = \sum_{i=1}^Z (\varphi_i - \sin \varphi_i) \cdot r^2. \quad (18)$$

Пропускна здатність розподільної системи планетарного гідромотора визначається, як течія робочої рідини через щілину [7-9]:

$$Q = \mu \cdot \sum_{i=1}^Z (\varphi_i - \sin \varphi_i) \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{2(p_{\text{вх}} - p_{\text{вих}})}{\rho}}, \quad (19)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $\rho$  – щільність робочої рідини;  $p_{\text{вх}}$  – тиск на вході в гідромотор;  $p_{\text{вих}}$  – тиск на виході з гідромотора.

Розроблена математична модель дозволяє досліджувати вплив зміни геометричних параметрів розподільної системи з круглими вікнами на вихідні характеристики планетарного гідромотора.

Взаємозв'язок геометричних параметрів розподільної системи та вихідних характеристик планетарного гідромотора досліджена на ПЕОМ за допомогою пакета імітаційного моделювання Vissim.

При моделюванні роботи розподільної системи приймаємо наступні вихідні дані та початкові умови:

- коефіцієнти кінематичної і динамічної в'язкості постійні;
- модуль пружності робочої рідини постійний;
- коефіцієнт динамічної в'язкості дорівнює  $\mu' = 0,267 \cdot 10^{-7} \text{ МПа} \cdot \text{с}$ ;
- тиск на вході (тиск нагнітання) дорівнює  $p_{\text{вх}} = 16 \text{ МПа}$ ;
- тиск на виході (тиск зливу) дорівнює  $p_{\text{вих}} = 0 \text{ МПа}$ ;
- кутова швидкість вала гідромотора дорівнює  $\omega = 68 \text{ с}^{-1}$ ;
- геометричні параметри вікон рухомого і нерухомого розподільників однакові;
- радіус розташування розподільних вікон дорівнює  $R = 36 \text{ мм}$ .

Залежно від конструктивних особливостей планетарних гідромоторів застосовуються різноманітні кінематичні схеми розподільних систем [8, 9]. На рис. 4 представлена зміна площі прохідного перетину в залежності від кінематичної схеми за час, відповідний одному циклу.

Аналіз зміни площі прохідного перетину в залежності від кінематичної схеми (рис. 4, табл. 1) показує, що зі збільшенням кількості робочих вікон рухомого розподільника площа прохідного перетину зменшується від  $115 \text{ мм}^2$  до  $37,5 \text{ мм}^2$  (кінематичні схеми 4/3

і 13/12, відповідно). При цьому амплітуда коливань площі також значно знижується від  $75 \text{ мм}^2$  до  $3 \text{ мм}^2$  (кінематичні схеми 4/3 і 13/12, відповідно). Кількість піків кожної досліджуваної кривої (рис. 4) відповідає кількості робочих вікон рухомого розподільника певної кінематичної схеми.

Відомо [3-5], що збільшення площі прохідного перетину розподільної системи можна забезпечити шляхом використання розвантажувальних вікон рухомого розподільника в якості додаткових робочих вікон. При цьому можна зменшити амплітуду коливань площі шляхом кутового зміщення робочих вікон рухомого розподільника.

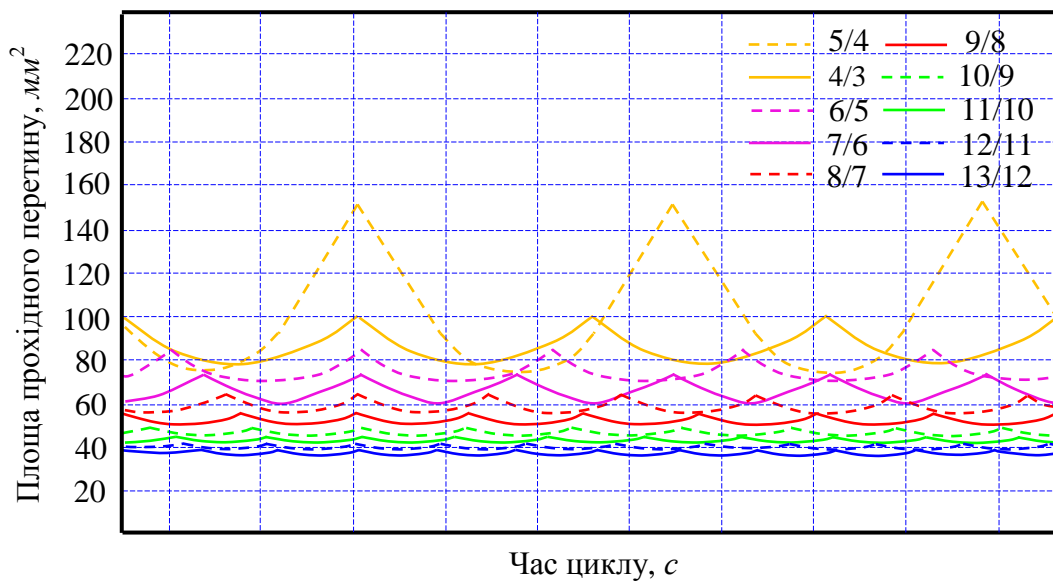


Рис. 4. Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами в залежності від кінематичної схеми без використання додаткових розвантажувальних вікон.

Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з використанням розвантажувальних вікон рухомого розподільника в залежності від кінематичної схеми представлена на рис. 5-7 і в табл. 1.

Аналіз зміни площі прохідного перетину розподільної системи в залежності від кінематичної схеми з використанням двох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника (рис. 5, табл. 1) показує, що така модернізація розподільної системи прийнятна для всіх кінематичних схем. Використання двох розвантажувальних вікон рухомого розподільника дозволяє збільшити площу прохідного перетину від 14% до 30%. При цьому амплітуда коливань площі для кінематичних схем 4/3, 7/6, 8/7, 11/10, 12/11 і 13/12 знижується практично в два рази. Для кінематичних схем 6/5 і 10/9 амплітуда коливань площі не змінюється, а для схем 5/4 і 9/8 – зростає на 8% і 25%, відповідно.

Аналіз зміни площі прохідного перетину розподільної системи

в залежності від кінематичної схеми з використанням трьох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника (рис. 6, табл. 1) показує, що така модернізація розподільної системи прийнятна тільки для кінематичних схем 7/6 і 13/12. Використання трьох додаткових розвантажувальних вікон дозволяє збільшити площу прохідного перетину на 33% і знизити амплітуду коливань площі в 2 рази – для кінематичної схеми 7/6. Для кінематичної схеми 13/12 при використанні трьох додаткових розвантажувальних вікон площа збільшується на 20%, а коливання площі практично відсутні (амплітуда коливань дорівнює  $1 \text{ мм}^2$ ).

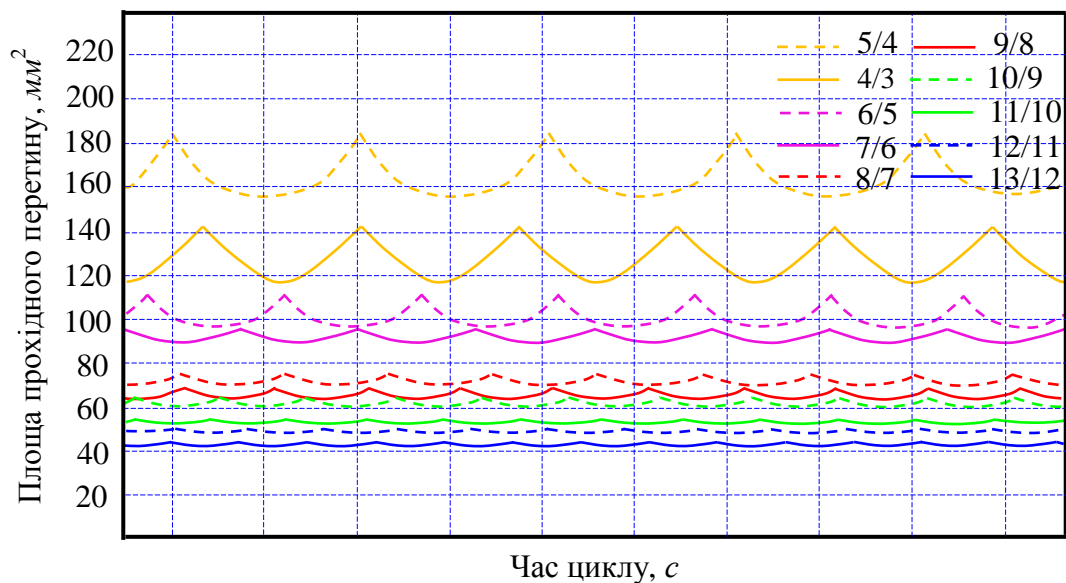


Рис. 5. Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами в залежності від кінематичної схеми з використанням двох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника.

У кінематичних схемах 5/4, 7/6, 9/8, 11/10 і 13/12 можна використовувати чотири додаткових розвантажувальних вікна рухомого розподільника (рис. 7, табл. 1). Використання чотирьох розвантажувальних вікон дозволяє збільшити площу прохідного перетину розподільної системи в 2 рази і в 2 рази знизити коливання площі – для кінематичної схеми 5/4. Для кінематичної схеми 7/6 при збільшенні площі в 1,5 рази амплітуда коливань знижується в 2 рази. При цьому для кінематичних схем 9/8, 11/10 і 13/12 площа прохідного перетину збільшується на 33%, 30% і 25%, відповідно, при практичній відсутності коливань.

Аналіз результатів моделювання показав, що зі збільшенням кількості робочих вікон рухомого розподільника площа прохідного перетину (пропускна здатність) розподільної системи зменшується (рис. 4). При цьому зменшується і амплітуда коливань площі.

При використанні двох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника в якості робочих, пропускна здатність розподільної системи збільшується на 15...30%. При використанні трьох додаткових розвантажувальних вікон – на 20...35% і на 50...100% – при використанні чотирьох розвантажувальних вікон в залежності від кінематичної схеми розподільної системи.

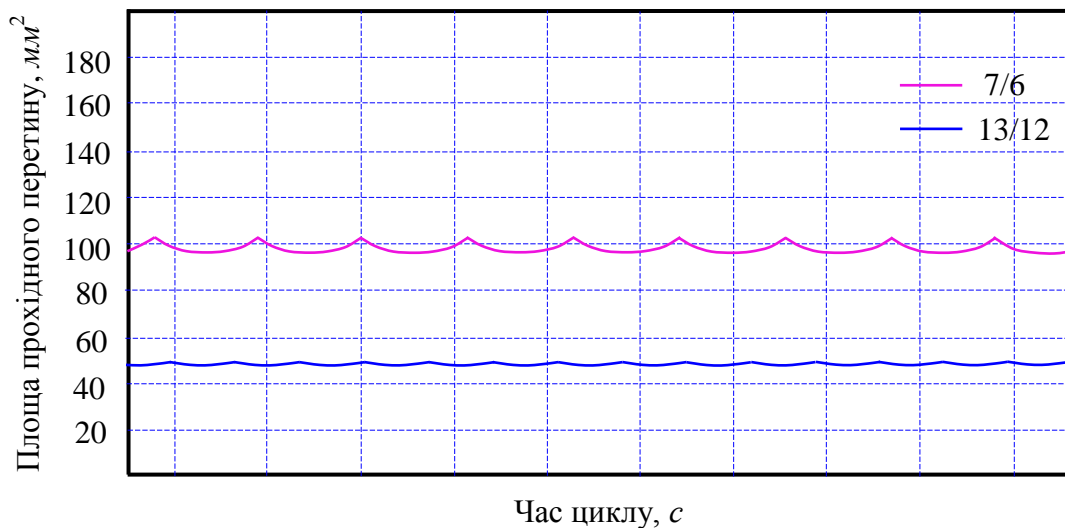


Рис. 6. Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами в залежності від кінематичної схеми з використанням трьох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника.

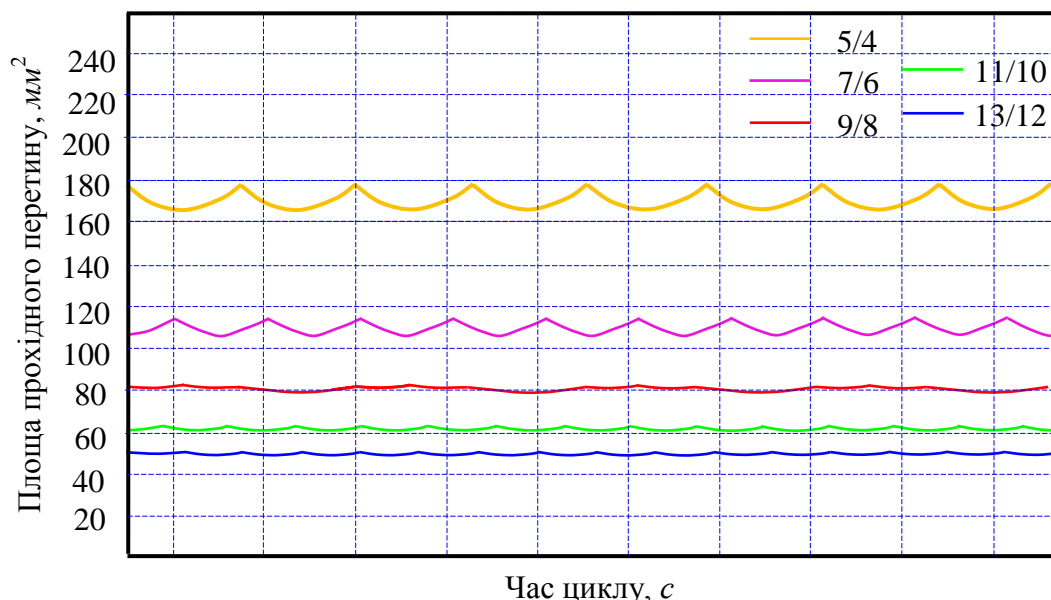


Рис. 7. Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами в залежності від кінематичної схеми з використанням чотирьох додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника.



Для практичного застосування результатів досліджень при проектуванні розподільних систем планетарних гідромоторів рекомендується використовувати додаткові розвантажувальні вікна рухомого розподільника в якості робочих.

Необхідно відзначити, що критичним параметрам, що визначає працездатність розподільної системи планетарного гідромотора є коливання площі прохідного перетину [7-9], які викликають пульсацію крутного моменту та частоти обертання валу гідромотора. Тому, з метою усунення пульсацій вихідних параметрів гідромоторів рекомендується використовувати кінематичні схеми з амплітудою коливань площі прохідного перетину до  $6 \text{ мм}^2$ .

Таблиця 1 – Зміна площі прохідного перетину розподільної системи з круглими вікнами в залежності від кінематичної схеми

Кінематична схема	Кількість робочих вікон	Кількість додаткових вікон	Площа прохідного перетину, $\text{мм}^2$			
			max	min	середня	амплітуда коливань
4/3	3	-	150	75	115	75
		2	185	155	167	30
5/4	4	-	100	77	85	23
		2	142	117	127	25
		4	177	165	170	12
6/5	5	-	83	70	75	13
		2	111	98	103	13
7/6	6	-	73	60	65	13
		2	91	85	87	6
		3	102	96	98	6
		4	112	106	108	6
8/7	7	-	63	55	58	8
		2	73	70	71	3
9/8	8	-	55	52	53	3
		2	68	64	65	4
		4	81	79	80	2
10/9	9	-	50	47	48	3
		2	64	61	62	3
11/10	10	-	46	43	44	3
		2	54	52	53	2
		4	63	61	62	2
12/11	11	-	42	39	40,5	3
		2	49	47	48	2
13/12	12	-	39	36	37,5	3
		2	45	43	44	2

		3	48	47	47,5	1
		4	51	50	50,5	1

*Висновки* – В результаті проведених досліджень обґрунтована, як більш технологічна, форма вікон розподільної системи, виконаних у вигляді кола.

Розроблені розрахункові схеми, математична модель та алгоритм розрахунку, дозволяють досліджувати вплив зміни геометричних параметрів розподільної системи з круглими вікнами на вихідні характеристики планетарного гідромотора.

Обґрунтовано вихідні дані та початкові умови для моделювання роботи розподільної системи планетарного гідромотора з різними кінематичними схемами.

Досліджено взаємозв'язок між площею прохідного перетину (пропускною здатністю) та кінематичними схемами розподільної системи планетарного гідромотора. Встановлено, що зі збільшенням кількості робочих вікон рухомого розподільника площа прохідного перетину зменшується. При цьому зменшується і амплітуда коливань площі. При додатковому використанні розвантажувальних вікон рухомого розподільника в якості робочих вікон пропускна здатність збільшується на 15...30% – з використанням двох, 20...35% – з використанням трьох і 50...100% – з використанням чотирьох розвантажувальних вікон в залежності від кінематичної схеми. При цьому амплітуда коливань площі зменшується в 2 рази.

Для практичного застосування результатів досліджень при проектуванні розподільних систем планетарних гідромоторів рекомендується використання додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника в якості робочих. З метою усунення пульсацій вихідних параметрів гідромоторів рекомендується використовувати кінематичні схеми з амплітудою коливань площі прохідного перетину до  $6 \text{ мм}^2$ .

#### Література:

1. *Захаров А. С., Сабельников В. И.* Авиационное гидравлическое оборудование. Новосибирск: НГТУ, 2017. 407 с.
2. *Остренко С. А.* Гидравлика, гидропривод, гидравлические и пневматические системы. ВГУЭС. URL: [https://abc.vvsu.ru/books/1\\_gidrosys/default.asp](https://abc.vvsu.ru/books/1_gidrosys/default.asp) (дата звернення: 20.10.2018).
3. *Панченко А. І.* Гідромашини для приводу активних робочих органів та ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки // Техніка АПК. 2006. № 3. С. 11-13.
4. Перспективи гідрофіксації мобільної сільськогосподарської техніки / *А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. Ю. Золотарьов, Д. С. Тітов* // Промислова гідрравліка і пневматика. 2003. № 1. С. 71-74.
5. *Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А.* Разработка

планетарных гидромоторов для силовых гидроприводов мобильной техники // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2015. Vol. 17, No 9. P. 29-36.

6. *Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А.* Конструктивные особенности планетарных гидромоторов серии PRG // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Гідравлічні машини та гідроагрегати. Харків, 2018. № 17. С. 88-95.

7. *Панченко А. И., Волошина А. А.* Планетарно-роторные гидромоторы. Расчет и проектирование: монография. Мелитополь: Люкс, 2016. 236 с.

8. Вплив конструктивних особливостей торцевої розподільної системи на функціональні параметри планетарного гідромотора / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, А. І. Засядько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 3. С. 33-50.

9. *Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А.* Обгрунтування кінематичних схем розподільних систем гідромашин планетарного типу // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 2. С. 30-49.

10. *Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K.* Strength analysis of the polyoxymethylenecycloidal gears of the gerotor pump // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014. № 14 (4). P. 647-660. Doi: 10.1016/j.acme.2013.12.005.

11. *Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K.* Gerotor pump with POM gears: Design, production technology, research // Archives of Civil and Mechanical Engineerin. 2014. № 14 (3). P. 391-397. Doi:10.1016/j.acme.2013.12.008.

12. Design of Rotor for Internal Gear Pump Using Cycloid and Circular-Arc Curves / *T. Choi, M. Kim, G. Lee and others* // Journal of Mechanical Design. 2012. № 134 (1). 011005-12. Doi:10.1115/1.4004423.

13. *Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А.* Оценка адекватности математической модели планетарного гидромотора в составе гидроагрегата // Промислова гідравліка і пневматика. 2018. № 1 (59). С. 55-71.

14. Analysis of forces and moments in gerotor pumps / *L. Ivanovic, N. Miric, G. Devedzic, S. Ćuković* // Journal of Mechanical Engineering Science. 2010. № 224 (10). P. 2257-2269. Doi: 10.1243/09544062JMES2041.

15. *Панченко А. И.* Математическая модель гидроагрегата с планетарным гидромотором // Промислова гідравліка і пневматика. 2005. № 4 (10). С. 102-112.

16. *Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А.* Особенности моделирования рабочих процессов, происходящих в

гидравлической системе насос-клапан-гидровращатель // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2016. Вип. 6, т. 1. С. 63-79.

17. *Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А.* Математическая модель насосной станции с приводным // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 6. С. 45-61.

18. *Ivanović L., Blagojević M., Devedžić G., Assoul Y.* Analytical and Numerical Analysis of Load Gerotor Pumps // Scientific Technical Review. 2010. No 60 (1). P. 30-38.

19. Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump / *Y. Chang, J. Kim, C. Jeon, K. Chul, S. Jung* // Journal of Mechanical Design. 2006. No 129 (10). P. 1099-1105. Doi:10.1115/1.2757629.

20. *Van de Ven J. D.* On Fluid Compressibility in Switch-Mode Hydraulic Circuits. – Part I: Modeling and Analysis // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 2012. No 135 (2). 021013-021013-13. Doi: 10.1115/1.4023062.

21. *Van de Ven J. D.* On Fluid Compressibility in Switch-Mode Hydraulic Circuits. – Part II: Modeling and Analysis // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. 2012. No 135 (2). 021014-021014-7. Doi: 10.1115/1.4023063.

22. A two scale mixed lubrication wearing-in model, applied to hydraulic motors / *J. Furustig, A. Almqvist, C. A. Bates, P. Ennemark, R. Larsson* // Tribology International. 2015. No 90. P. 248–256. Doi: 10.1016/j.triboint.2015.04.033.

23. *Косенок Б. Б.* Инвариантность векторных моделей в моделировании зубчатых передач // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. № 19. С. 157-161.

24. *Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А.* Модель гідралічного приводу мехатронної системи // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 2. С. 59-83. Doi: 10.31388/2078-0877-18-2-58-82.

25. *Ding H., Lu J. X., Jiang B.* A CFD model for orbital gerotor motor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2012. No 15 (6). 062006. Doi: 10.1088/1755-1315/15/6/062006.

26. *Altare G., Rundo M.* Computational Fluid Dynamics Analysis of Gerotor Lubricating Pumps at High-Speed: Geometric Features Influencing the Filling Capability // Journal of Fluids Engineering. 2016. No 38 (11). FE-15-1757. Doi: 10.1115/1.4033675.

27. *Chiu-Fan H.* Flow Characteristics of Gerotor Pumps With Novel Variable Clearance Designs // Journal of Fluids Engineering. 2015. No 137 (4). FE-14-1137. Doi: 10.1115/1.4029274.

28. Математическое векторное моделирование пульсаций

подачи жидкости шестеренным качающим узлом / Б. Б. Косенок, А. Н. Крючков, Л. В. Родионов, Е. В. Шахматов // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. № 11 (3). С. 257-262.

29. Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А. Способы распределения рабочей жидкости в планетарных гидромашинах // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Гідравлічні машини та гідроагрегати. Харків, 2016. № 20 (1192). С. 46-52.

30. Математическая модель торцевой распределительной системы с окнами в форме паза / А. И. Панченко, А. А. Волошина, В. М. Верещага, А. А. Зуев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 6. С. 322-331.

## УЛУЧШЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТАРНЫХ ГИДРОМАШИН

Панченко А. И., Волошина А. А., Панченко И. А., Засядько А. И.

**Аннотация** – для решения проблемы повышения технологичности изготовления элементов распределительной системы планетарного гидромотора обоснована форма окон подвижного и неподвижного распределителей. Разработаны расчетная схема, математическая модель и алгоритм расчета, позволяющие исследовать влияние изменения геометрических параметров распределительной системы с окнами, выполненными в виде окружности, на пропускную способность планетарного гидромотора. Установлено, что в зависимости от кинематической схемы распределительной системы площадь проходного сечения распределительной системы изменяется. При этом изменяется и амплитуда колебаний площади проходного сечения. При использовании разгрузочных окон распределителя в качестве дополнительных рабочих окон, пропускная способность увеличивается, а амплитуда колебаний – уменьшается. Критическим параметром определяющим работоспособность распределительной системы являются колебания площади проходного сечения. Поэтому, при проектировании распределительных систем рекомендуется использование дополнительных разгрузочных окон в качестве рабочих.

## IMPROVING THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF PLANETARY HYDRAULIC MACHINES

A. Panchenko, A. Voloshina, I. Panchenko, A. Zasyadko

### *Summary*

One of the main systems limiting the work of a planetary hydraulic motor is its distribution system. The distribution system of such a hydraulic motor consists of fixed and movable distributor. The fixed distributor serves to supply (drain) the working fluid in the planetary hydraulic motor. It is mounted fixed relative to the motor case. The movable distributor serves to supply (drain) the working fluid to the working chambers of the hydraulic motor. It is mounted on the hydraulic motor shaft and rotates relative to the fixed distributor. The efficiency of the distribution system depends on the manufacturability of its elements. To solve the problem of improving the manufacturability of the elements for the distribution system of a planetary hydraulic motor, the shape of the windows of the movable and fixed distributors is justified. A design diagram, a mathematical model and a calculation algorithm have been developed as well. That allowed to investigate the effect of changes in the geometric parameters of the distribution system on a planetary hydraulic motor throughput when the windows are made in the form of a circle. It has been established that the flow area of the distribution system varies according to the kinematic diagram of the distribution system. At the same time, the amplitude of the flow area oscillations changes as well. When using the discharging windows of the distributor as additional working windows, the throughput increases, and the amplitude of oscillations decreases. The critical parameter which determines the operability of the distribution system is the oscillations of the flow area. Therefore, when designing distribution systems, it is recommended to use additional discharging windows as working ones.

УДК 631.365.2:635.655

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-86-93

## ОБГРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІЖОПЕРАЦІЙНОГО ВІБРОХВИЛЬОВОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ СОЇ ЗА ЇЇ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

Паламарчук І. П., д. т. н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

Кюрчев С. В., к. т. н.,

Верхоланцева В. О., к. т. н.,

Кюрчева Л. М., к. с.-г. н.,

Стручаєв М. І., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена проблемі зниження енерговитрат на процес терморадіаційного сушіння насіння сої при максимальному збереженні її вихідних властивостей, шляхом розробки конструктивного оснащення для реалізації міжопераційного транспортування продукції у зоні обробки. Результати експериментальних досліджень виявили ефективність утворення на поверхні гнучкого вантажонесучого органу біжучої або стоячої хвилі, яка забезпечує одночасну реалізацію процесів тепломасообмінної обробки та пошарового перемішування сої.

**Ключові слова** – інфрачервоне сушіння, соя, віброхвильове транспортування, коливальна система, амплітуда коливань, віброшвидкість.

*Постановка проблеми.* Інфрачервоне сушіння сипкої сільськогосподарської продукції відзначається як високою інтенсивністю енергопідведення, так і можливістю термічного ураження поверхневого шару, що зумовлює необхідність у процесі транспортування сировини у робочій зоні виконувати перемішування її шарів [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Така проблема вирішувалась за використання віброконвеєрних сушильних апаратів, проте останні відзначаються достатньо високою металомісткістю та енергонасиченістю процесу тепломасообмінної обробки [2, 3]. Техніко-економічні аспекти даного процесу визначають необхідність визначити параметри робочих режимів, що дозволяють з

мінімальними енерговитратами забезпечити максимальну продуктивність сушарки. Серед умов, які обмежують дані характеристики потрібно відзначити необхідність забезпечення потрібного зниження вологості сировини за один прохід продуктивного потоку при максимальному забезпеченні рівномірності пошарової обробки продукції.

Для задоволення даних умов та виконання поставлених завдань, враховуючи технологічно-конструктивні особливості розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки, необхідно синхронізувати робочі параметри двох віброзбуджувачів, що агрегатовані в опорних котках деформованого транспортуючого елемента [4, 5]. При цьому задача зводиться до вибору параметрів вібрації приведених механізмів сушарки, які мають забезпечити стійке просування продуктового потоку з максимально можливою швидкістю, що дозволить досягнути на виході потрібної вологості оброблюваної продукції.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної роботи є максимальне збереження вихідних властивостей насінневого матеріалу, зокрема сої, при мінімізації енерговитрат на процес міжопераційного транспортування продукції при її інфрачервоному сушінні на основі аналізу експериментальних досліджень кінематичних характеристик розробленої віброхвильової коливальної системи.

*Основна частина.* Серед основних параметрів досліджуваної вібромашини можна відзначити тепломасообмінні та фізико-механічні, які визначалися при використанні розробленої експериментальної моделі конвеєрної сушарки, що представлена на рисунку 1.

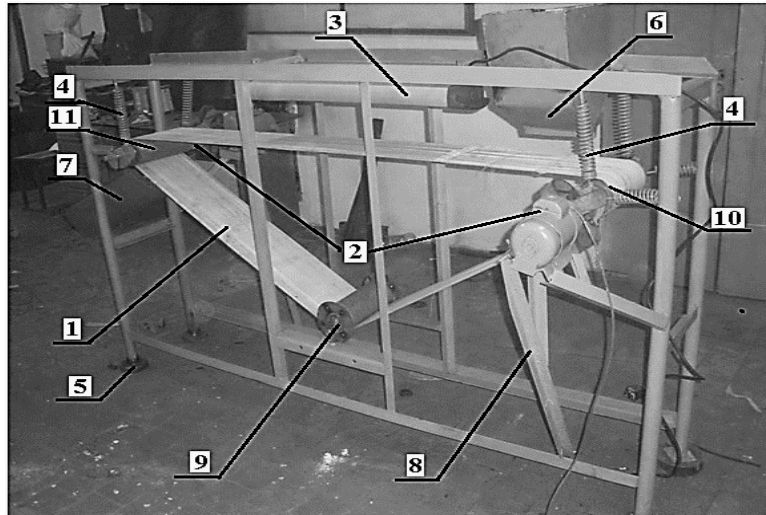
Основні елементи віброконвеєрної терморадіаційної установки які представлені на рисунках 1,2,3, дозволяють реалізовувати разом із основним технологічним процесом інфрачервоного сушіння сипкої продукції віброхвильове транспортування з постійним оновленням поверхонь тепломасообміну.

Аналіз віброхвильової коливальної системи проводили за кінематичними, силовими та енергетичними критеріями оцінки. В якості кінематичних характеристик досліджували амплітуду коливань, кутову швидкість обертання приводних валів віброзбуджувачів, віброшвидкість та віброприскорення.

Амплітуду коливань визначали трьома способами: методом концентричних кіл, за допомогою апаратури Robotron та при використанні ручного віброметра. Перший метод базується на отриманні шуканої амплітуди за візуальною зміною траєкторії кіл, що представлені на спеціальних датчиках, які були наклеєні на віброуючий



поверхні. При застосуванні апаратури Robotron попередньо вібраційні датчики жорстко монтувалися на поверхні, що коливається; далі сигнали з датчиків знімалися з осцилографів та перетворювалися у фізичні величини. При використанні віброметрів сигнал з віброуючої поверхні подавався та розшифровувався безпосередньо на ПЕОМ. Останній метод є найбільш простим, компактним, хоча характеризується дещо більшою похибкою вимірювань.

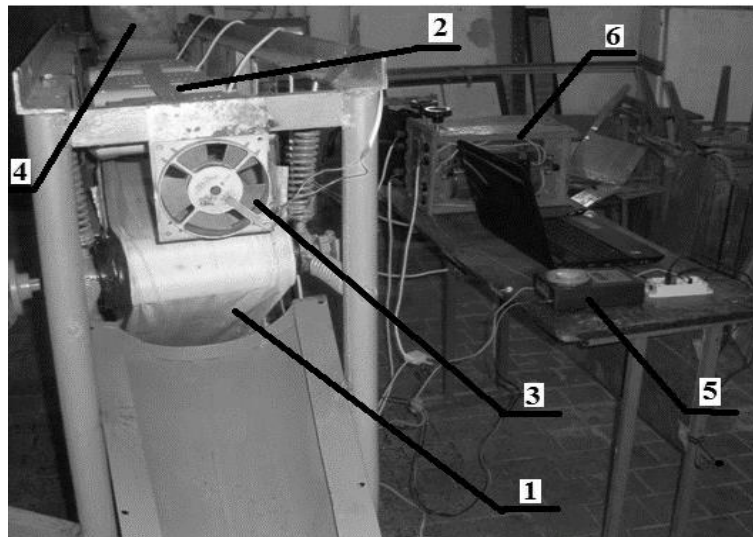


1 – гнучка вантажонесуча стрічка; 2 – механічні віброзбуджувачі кінематичного типу; 3 – блок випромінювача; 4 – пружна підвіска; 5 – віброопора; 6 – живильний патрубок продукції; 7 – приймальний патрубок; 8 – рама установки, 9 – натяжний коток; 10, 11 – робочі вальці.

Рис.1. Експериментальна віброконвеєрна терморадіаційна сушарка.

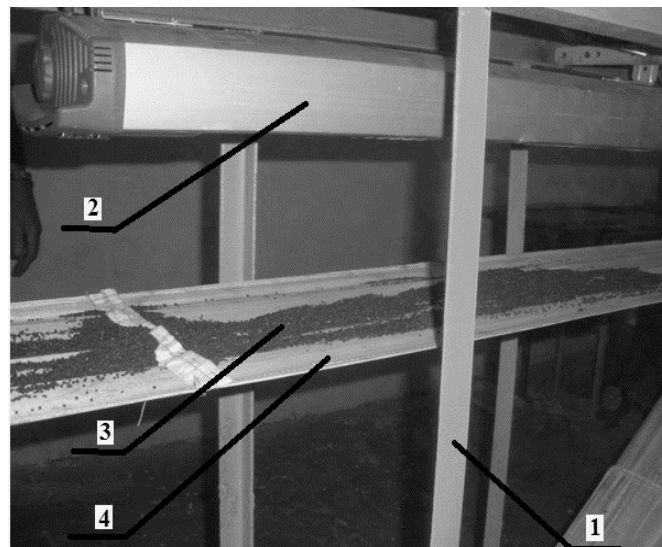
При вимірюванні частоти коливань використовували комплекс електротехнічних пристроїв, який дозволяє повільно змінювати частоту обертання приводного валу віброзбуджувача, контролювати напругу та силу електричного струму. При визначені частоти обертання приводного валу на торці останнього встановлювали жорстко датчик, який передавав сигнал до тахометра. Використовували також і більш простий спосіб даного вимірювання: за допомогою цифрового частотоміра, який не вимагає громіздкого допоміжного оснащення, хоча і має більшу похибку вимірювань.

Віброшвидкість та віброприскорення визначали аналітично при використанні величин двох попередньо відзначених характеристик, а також вимірюванням при допомозі апаратури Robotron та віброметра.



1 – вантажонесуча стрічка; 2 – випромінювальний блок;  
3 – вентилятор видалення вологи; 4 – приймальний бункер сушарки;  
5 – вологомір; 6 – лабораторний автотрансформатор на два джерела енергії.

Рис. 2. Вимірювальне оснащення для оцінки фізико-механічних характеристик процесу інфрачервоного сушіння.



1 – рама установки; 2 – випромінювач; 3 – продукція, що обробляється; 4 – гнучка вантажонесуча стрічка.

Рис. 3. Процес міжопераційного віброхвильового транспортування сипкої продукції в конвеєрній інфрачервоній установці.

Амплітудно-частотні характеристики дозволяють виявити ділянки резонансних піків та встановленого режиму роботи виконавчих органів машин, що дозволило обґрунтувати за резонансний період за умов ефективного віброзахисту. Оцінку даних параметрів проводимо за різних кутів розташування дебалансів один

відносно одного, що дозволяє, змінюючи даний кут від 0 до  $\pi$ , варіювати силу інерції незрівноважених елементів від максимального значення до нуля. Зміна положень незрівноважених елементів відносно вертикальної осі машини дало можливість отримати варіанти силової, моментної та комбінованої незрівноваженості досліджуваної коливальної системи [6].

На основі експериментальної бази даних сушіння (табл. 1) [6, 7], що була отримана при дослідженні зміни фізико-механічних та тепломасообмінних параметрів олієвмісної продукції, зокрема сої, за умов інфрачервоного оцінювали найбільш значимий факторний простір процесу та визначили його основні характеристики.

Таблиця 1 – Вихідні експериментальні дані інфрачервоного сушіння сої у рухомому шарі

№ п/п	$v$ , см/с	$N_{оп}$ , Вт	$\tau$ , с	$m_B$ , г	$m_{п}$ , г	$\Delta X$ , кг/кг	$mB/\tau$ , г/с	$\tau/m_B$ , с/г
1	0,15	220	85	5,1	294,9	0,017	0,06	16,67
2	0,15	220	205	8,1	291,9	0,028	0,04	25
3	0,15	220	380	13,8	286,2	0,048	0,036	27,78
4	0,15	220	520	20,4	279,6	0,073	0,039	25,64
5	0,4	220	45	0,3	299,7	0,001	0,075	13,33
6	0,4	220	84	0,9	299,1	0,003	0,0107	93,46
7	0,4	220	160	5,1	294,9	0,017	0,0319	31,35
8	0,4	220	235	8,7	291,3	0,03	0,037	27,03
9	0,6	220	50	0,45	299,55	0,002	0,008	125
10	0,6	220	95	0,75	299,25	0,003	0,0079	126,6
11	0,6	220	140	4,2	295,8	0,014	0,03	33,3
12	0,6	220	320	7,2	292,8	0,025	0,0225	44,44

Примітки:

$v$  – швидкість транспортування продукції, см/с;  $N_{оп}$  – потужність інфрачервоного випромінювання, Вт;  $\tau$  – час обробки, с;  $dW/dt$  – швидкість видалення вологи, %/хв.;  $m_B$  – маса видаленої вологи, кг;  $m_{п}$  – маса продукції, що висушується;  $\Delta X$  – маса видаленої вологи, що приходить на одиницю маси продукції, кг/кг.

За використання попередньо представленої експериментальної бази даних визначаємо параметри основних етапів досліджуваного терморадіаційного сушіння залежно від швидкісних параметрів силового поля. У результаті отримуємо сімейства графічних експериментальних залежностей для представлених швидкостей транспортування сипкої продукції (рис.4, 5, 6).

Представлені рисунки відображають криві терморадіаційного сушіння сої для різних швидкостей транспортування насінневого матеріалу вздовж робочої довжини тепломасообмінної установки. Етап постійної швидкості сушіння починається через 250 с обробки при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с; через 520 с обробки при швидкостях 0,4 та 0,6 см/с. Для вказаного режиму

швидкість сушіння за швидкості транспортування продукції 0,15 см/с перевищує на 13...14% як за швидкостей переміщення сипкої маси 0,4 та 0,6 см/с.

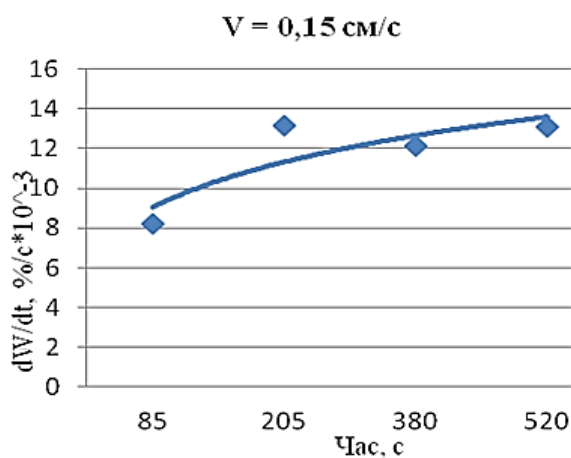


Рис. 4. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с.

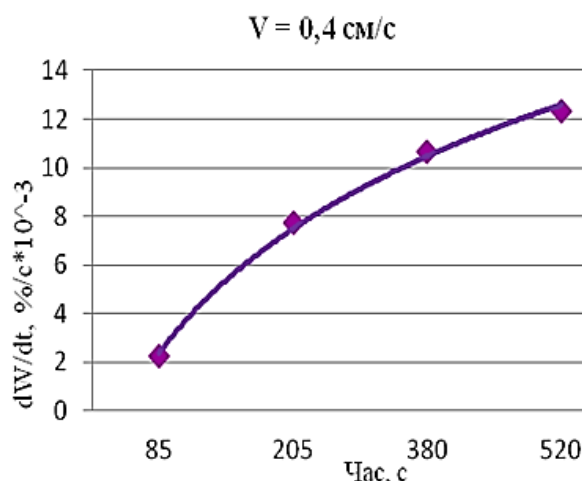


Рис. 5. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,4 см/с.

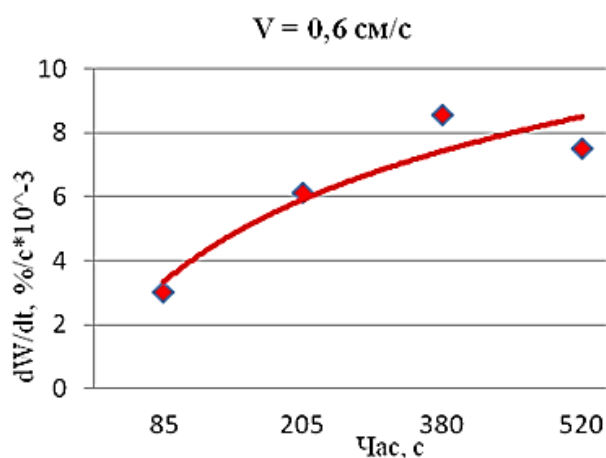


Рис. 6. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,6 см/с.

Таким чином, найбільш ефективним робочим режимом транспортування сої в умовах терморадіаційного сушіння є інтервал швидкостей 0,15...0,4см/с.

*Висновки.* Запропоновано процес міжопераційного віброхвильового транспортування сипкої продукції у конвеєрній інфрачервоній установці, що дозволяє отримати необхідну спіралевидну траєкторію руху зернівок сої при неперервному перемішуванні шарів продукції без застосування спеціалізованих механічних пристроїв для проведення вказаних операцій у робочій зоні. За результатами експериментальних досліджень найбільш ефективним робочим режимом транспортування сої в умовах терморадіаційного сушіння є інтервал швидкостей 0,15...0,4см/с.

#### Література:

1. Технологічні властивості сировини: навч. посібник / *О. П. Прісс, С. В. Кюрчев, В. Ф. Жукова, Н. А. Гапрідашвілі*. Мелітополь, Херсон : Олді -плюс, 2014. 224 с.

2. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва : навч. посібник / *В. Ф. Ялчак [та ін.]*. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 278 с.

3. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Одеса, 2018. Вип. 82, т. 1. С.122-127.

4. *Богданов Є. В., Кюрчев С. В.* Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 6. С. 65-69.

5. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок // The development of technical sciences: problems and solutions: the international research and practical conference (Brno city, 27–28 April 2018). Brno, 2018. P. 9-12.

6. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції // Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Умань, 17-18 травня 2018 р.). Умань, 2018. С. 113-115.

7. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В.* Застосування перспективної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки // Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XIX Міжнар. наук. конф., присвяченої 118-й річниці від дня народження академіка П. М. Василенка (м. Київ, 17-19 жовтня 2018 р.). Київ, 2018. С. 84-85.

## ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕЖОПЕРАЦИОННОЙ ВИБРОВОЛНОВОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ СОИ ПРИ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКЕ

Паламарчук И. П., Кюрчев С. В., Верховланцева В. А., Кюрчева Л. М., Стручаев Н. И.

*Аннотация* – статья посвящена проблеме снижения энергозатрат на процесс сушки сои, путем рассмотрения межоперационной транспортировке к сушке. Приведенные результаты практических исследований с использованием виброволновой инфракрасной сушки. Процесс межоперационной транспортировки сыпучей продукции в установке, позволяет получить необходимую спиралевидную траекторию движения сои при непрерывном перемешивании слоев без применения специализированных механических устройств.

## JUSTIFICATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF INTER-OPERATING VIBROWAVE SOFTWARE AND FOR ITS INFRARED DRYING

I. Palamarchuk, S. Kiurchev, V. Verkholantseva, L. Kiurcheva, N. Strouchayev

### *Summary*

The article is devoted to the problem of reducing energy consumption for the process of drying soybeans, by considering the inter-operational transportation to drying. The basic characteristics of vibration are considered: amplitude of oscillation, vibration velocity and vibration acceleration, which influence on interoperative transportation to drying of infrared irradiation of soy. Short-term intense infrared exposure of the surface layer of raw products carries both problems: of their overheating and uneven layer processing. Their promising solution has become the usage of vibrating conveyor and wave techniques. They allow creating favourable conditions for intensifying of the production process and applying effective methods of exposure of its object; implementing continuous process movement; creating general control on dynamic status of the system; minimizing mechanical and thermal damages to the object. Saving and rationalizing the harvest of crops for important crops, skin products, skin conditioners, independent of the structure, the volume of the workplace and other demonstrations. The results of practical research using vibro-infrared drying. Considered a change in the speed of infrared drying of soybean depending on the time at the speed of transportation of products Represented by changes in humidity during the We want to note that the process of transportation is carried out on the peculiarity of the contraction of the vibration-conveyer infrared dryer, which consists of the rollers located on the eccentric shaft.

УДК 621.565

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-94-102

## КАСКАДНИЙ МОРОЗИЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ

Стручаєв М. І., к. т. н.,

Олексієнко В. О., к. т. н.,

Петриченко С. В., к. т. н.,

Верхоланцева В. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена технології виробництва заморожених продуктів та наведено запропонований нами каскадний морозильний пристрій, як варіант удосконалення холодильного технологічного устаткування для заморожування дрібноштучних продуктів у щільному зваженому шарі з використанням швидкого заморожування і подальшого тривалого низькотемпературного зберігання фруктової та овочевої продукції.

**Ключові слова** – каскадний морозильний пристрій, холодильне технологічне устаткування, заморожування дрібноштучних продуктів у щільному зваженому шарі, швидке заморожування, фруктова та овочева продукції.

*Постановка проблеми.* В умовах економії енергоресурсів та підвищення екологічної безпеки, вирощена сезонно у відкритому ґрунті, плодоовочева продукція стає головним джерелом поживних речовин та вітамінів. Тривале зберігання плодоовочевої продукції в даний час є досить актуальною проблемою. Заморожування – один з ефективних способів продовження термінів використання плодів і овочів після періоду збирання, технологічні режими та умови якого постійно удосконалюються [1, 2, 3]. Один з прогресивних способів – це удосконалення технології швидкісного охолодження. Ефективним способом є заморожування дрібноштучних продуктів у щільному зваженому шарі з використанням швидкого заморожування. Цей спосіб дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання. [4, 5, 6].

*Аналіз останніх досліджень.* Значну увагу в дослідженнях приділено теплофізичним аспектам заморожування плодоовочевої продукції. Визначені коефіцієнти теплопровідності різних плодів при заморожуванні. Отримані емпіричні залежності для визначення

кількості теплоти при заморожуванні і розморожуванні та інші теплофізичні розрахунки [7, 8, 9]. Значний інтерес представляють роботи, присвячені вивченню питань запобігання змерзання шару плодів та ягід шляхом їх попереднього підморожування в шарі або з використанням флюїдизаційних пристроїв [10, 11]. Результати аналітичних та експериментальних досліджень представлені в роботах вітчизняних та зарубіжних авторів [12, 13, 14, 15, 16]. Проте, треба відзначити, що порівняльним дослідженням енерговитрат при використанні флюїдизаційних пристроїв та механічних або семіфлюїдизаційних швидко морозильних пристроїв приділено незначну увагу.

При флюїдизаційному заморожуванні змерзання плодів запобігають потоком холодного повітря, в той час, як в механічних або семіфлюїдизаційних швидко морозильних пристроях плоди постійно переміщують за рахунок коливань робочої поверхні транспортера [17, 18].

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є аналіз процесу флюїдизаційного та семіфлюїдизаційного заморожування дрібноштучних продуктів у щільному зваженому з використанням швидкого заморожування і тривалого низькотемпературного зберігання фруктів та овочевої продукції.

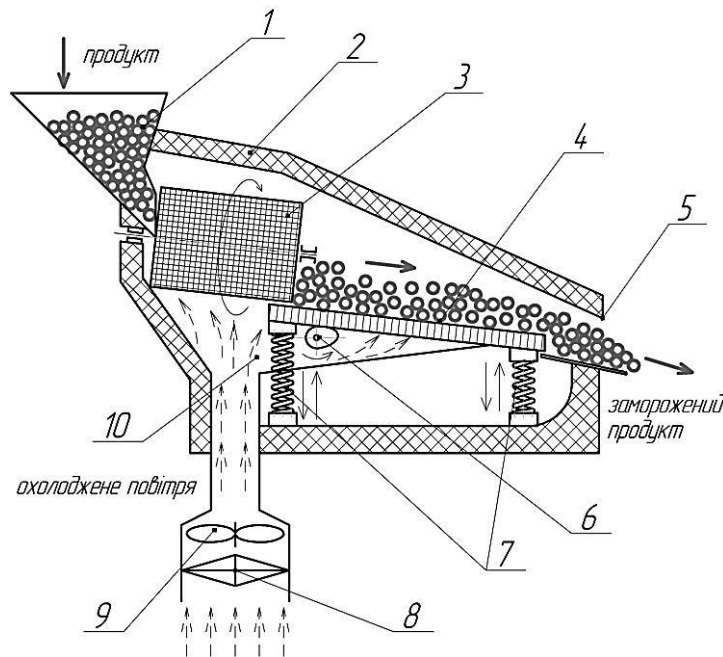
*Задачі статті:* порівняти запропонований нами каскадний морозильний пристрій з існуючими флюїдизаційними пристроями. При цьому необхідно спростити конструкцію, зменшити енерговитрати, покращити стійкість зваженого шару продукту, який заморожується, підвищити інтенсивність теплообміну у псевдозрідженому шарі та продуктивність процесу заморожування в цілому.

*Основна частина.* Запропонований нами каскадний морозильний пристрій містить завантажувальний вузол, теплоізолювану камеру для заморожування продуктів з сітчастим транспортуючим засобом, з'єднану з випарником холодильного агрегату через канали розподілення низькотемпературного повітря, вентилятор, вивантажувальне вікно, перед сітчастим транспортуючим засобом похило встановлено сітчастий порожнистий обертовий барабан, а сітчастий транспортуючий засіб виконано у вигляді вібротранспортера з ексцентриковим механізмом та пружинами (рис. 1).

Застосування каскадного морозильного пристрою запропонованої конструкції полягає в наступному. В цеху заморожування продукції монтується теплоізолювана камера 2, на вході в камеру встановлюють завантажувальний вузол 1, в камері 2 похило встановлюють сітчастий порожнистий обертовий барабан 3, сітчастий транспортуючий засіб 4 з ексцентриковим механізмом 6, пружини 7, а на виході з камери 2 вивантажувальне вікно 5. Камеру 2



з'єднують з випарником 8 холодильного агрегату з каналами 10 розподілення низькотемпературного повітря та вентилятором 9 для подачі в камеру 2 низькотемпературного повітря.



1 – завантажувальний вузол; 2 – теплоізольована камера; 3 – барабан обертовий, сітчастий порожнистий, встановлений похило; 4 – сітчастий транспортуючий засіб, 5 – вивантажувальне вікно, 6 – ексцентриковий механізм, 7 – пружини, 8 – випарник холодильного агрегату, 9 – вентилятор, 10 – канали розподілення низькотемпературного повітря.

Рис. 1. Функціональна схема каскадного морозильного пристрою.

Продукт, який підлягає заморожуванню, безперервно подають завантажувальним вузлом 1 у сітчастий порожнистий обертовий барабан 3, одночасно включають вентилятор 9. Починається обертовий рух та вільне падіння продукту і енергійний теплообмін з низькотемпературним повітрям, що призводить до підмерзання зовнішнього шару. Далі продукт зсипається на сітчастий транспортуючий засіб 4, де під дією ексцентрикового механізму 6 та пружин 7 починається його вертикальне і горизонтальне переміщення та формується псевдозріджений шар. Вентилятор 9 через випарник 8 холодильного агрегату з каналами 10 повітрярозподілення подає охолоджене низькотемпературне повітря в камеру 2. Потік повітря проходить через сітчастий транспортуючий засіб 4 і остаточне заморожування продукту безперервно відбувається в псевдозрідженому шарі. З сітчастого транспортуючого засобу 4 продукт зсипається через вивантажувальне вікно 5, звідки подається у пакувальну машину (не показано).

Визначимо витрати енергії на псевдозрідження та на механічне підкидання:

$$E_{n.zp} = V \cdot \Delta P \cdot F, \quad (1)$$

де  $E_{n.zp}$  – витрати енергії на псевдозрідження, Вт;

$V$  – швидкість повітря, м/с,

$\Delta P$  – перепад тиску при просуванні повітря через шар плодів, Па;

$F$  – площа поперечного перетину, м<sup>2</sup>.

Перепад тиску в шарі:

$$\Delta P = (\rho_{пл} - \rho_{нов}) \cdot g \cdot (1 - \varepsilon) \cdot H, \quad (2)$$

де  $\rho_{пл}$  – густина шару плодів, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{нов}$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – порозність псевдозрідженого шару.

$H$  – висота шару, м.

Перепад тиску в шарі по рівнянню Ергана:

$$\Delta P = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu \cdot V}{d_a^2} \cdot H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\rho_i \cdot V^2}{d_a} \cdot H, \quad (3)$$

де  $\mu$  – в'язкість рідини або газоподібної фази, Па·с;

$d_e$  – еквівалентний діаметр плоду, м;

$\rho$  – густина плоду, кг/м<sup>3</sup>.

Критеріальна залежність О. М. Годеса:

$$Re = \frac{Ay}{1400 + 5.22\sqrt{Ar}}, \quad (4)$$

$$Ar = g \frac{d_e^3 \cdot (\rho_n - \rho_g)}{v^2 \cdot \rho_g}, \quad (5)$$

де  $v$  – кінематична в'язкість повітря, Па·с;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$Ar$  – критерій Архимеда.

Швидкість повітря на початку псевдо зрідження, м/с:

$$V_0 = \frac{Re \cdot \mu}{d_e \cdot \rho_g}. \quad (6)$$

Робоча швидкість повітря, м/с:

$$V = 2 \cdot V_0, \quad (7)$$

Визначимо витрати енергії на механічне підкидання

$E_{m.n\delta}$  – витрати енергії на механічне підкидання сітчастим транспортуючим засобом визначаємо за формулою:

$$E_{m.n\delta} = \frac{4 \cdot (M_{c.mp.} + M_{nl}) \cdot \pi^2 \cdot n^3 \cdot A^2}{10,2 \cdot g}, \quad (8)$$

де  $E_{m.n\delta}$  – витрати енергії на механічне підкидання сітчастим транспортуючим засобом, Вт;

$M_{c.mp}$  – маса сітчастого транспортуючого засобу, кг;

$M_{nl}$  – маса плодів, які заморожують, кг;

$n$  – частота коливань, 1/с;

$A$  – амплітуда коливань, м.

Масу сітчастого транспортуючого засобу  $M_{c.mp}$ , кг, визначаємо по формулі:

$$M_{c.mp} = 10 \cdot m_c \cdot z_{k.c.}, \quad (9)$$

де  $m_c$  – маса однієї сітки, кг;

$z_{k.c.}$  – кількість сіток у сітчастому транспортуючому засобі, шт.

Масу плодів, які заморожують, кг, визначаємо по формулі:

$$M_{nl} = \rho_{nl} \cdot W, \quad (10)$$

де  $\rho$  – густина плоду, кг/м<sup>3</sup>.

Частоту коливань сітчастого транспортуючого засобу  $n$ , 1/с, визначаємо по формулі:

$$n = \frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot j_0}{A}}, \quad (11)$$

де  $j_0$  – оптимальне прискорення сітчастого транспортуючого засобу, м/с<sup>2</sup>;

$A$  – амплітуда коливань, м.

Амплітуда коливань сітчастого транспортуючого засобу  $A$ , м, визначається по формулі

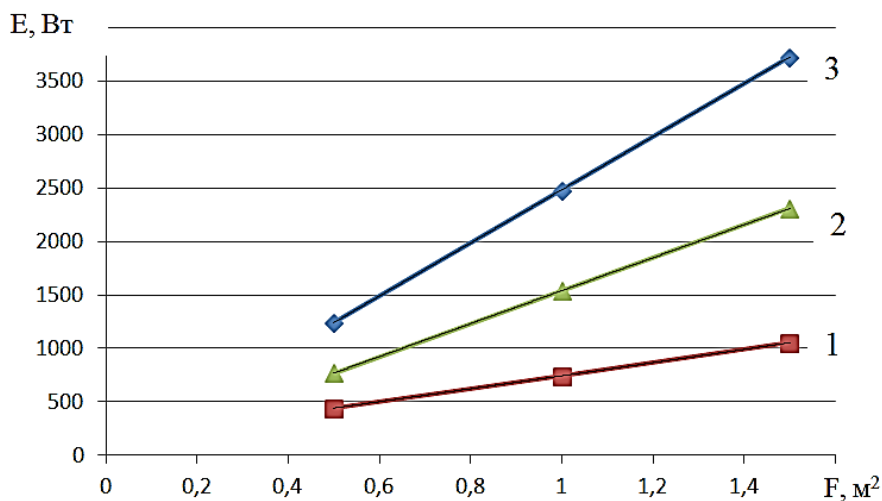
$$A = e \cdot k, \quad (12)$$

де  $e$  – ексцентриситет, м ( $e = (5...10) \cdot 10^{-3}$  м);

$k$  – коефіцієнт, що враховує коливання рами машини, що залежить від оптимального прискорення решета.

Для прикладу виконаємо розрахунки енерговитрат на створення псевдозрідженого шару та на механічне підкидання при заморожування ягід малини. Приймаємо швидкість повітря  $V = d^{1/2} = 2,7 \dots 3,9$  м/с, перепад тиску при просуванні повітря через шар плодів  $\Delta P = 919$  Па, площа поперечного перетину  $F = a \cdot b = 1 \cdot 0,5 = 0,5$  м<sup>2</sup>; густина шару плодів  $\rho = 580$  кг/м<sup>3</sup>; порозність псевдозрідженого шару  $\varepsilon = 0,4 \dots 0,55$ ; густина повітря  $\rho_{нов} = 1,42$  кг/м<sup>3</sup> (при  $-25$  °С); висота шару  $H = 0,1 - 0,27$  м.

З графіку (рис. 2) видно, що енерговитрати на створення псевдозрідженого шару в порівнянні з механічним підкиданням при заморожування ягід малини в 1,5...3,5 рази більші.



1 – механічне підкидання, 2 – псевдозріджений шар при  $V = 2,7$  м/с, 3 – псевдозріджений шар при  $V = 3,9$  м/с.

Рис. 2. Графік залежності енерговитрат від площі поперечного перетину на створення псевдозрідженого шару та на механічне підкидання при заморожування ягід малини.

*Висновки.* Застосування каскадного морозильного пристрою запропонованої конструкції за рахунок встановлення сітчастого порожнистого обертового барабану та виконання сітчастого транспортуючого засобу у вигляді вібротранспортера з ексцентриковим механізмом та пружинами, дозволяє спростити конструкцію, зменшити енерговитрати в 1,5...3,5 рази, покращити стійкість зваженого шару продукту, який заморожується, підвищити інтенсивність теплообміну у псевдозрідженому шарі та продуктивність процесу заморожування в цілому.

Методика критеріїв визначення енерговитрат та головних конструктивних параметрів каскадного морозильного пристрою може бути використана при проектуванні холодильного обладнання, а запропонована конструкція може бути застосована у виробництві.

## Література:

1. The Research of Heat Transfer Process During Freezing of Berries / *I. A. Skrupskis, U. Gross, M. Rucins, A. Aboltins* // Foodbalt-Proceedings-2008. P. 79-83.
2. *Стручаєв М. І., Загорко Н. П., Тарасенко В. Г.* Формування заморожених соків // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 1. С. 246-252.
3. Heat-Mass Transfer in Layer of Berries During Freezing Process. Refrigeration for Sustainable Development / *A. Aboltins, S. Boca, R. Galoburda, U. Gross, I. Skrupskis*. Book of Abstracts, Czech Republic, Prague, 2011. 342 p.
4. Пристрій для зберігання охолоджених продуктів: пат. 129068 Україна: МПК (2006.01) F25D 13/00, A01F 25/00. № у 2018 02457; заявл. 12.03.2018; опубл. 25.10.2018. Бюл. № 20.
5. Пристрій для виробництва аерованих заморожених продуктів: пат. 129278 Україна: МПК (2006.01) F25D 3/12 (2006.01), A23G 9/46(2006.01), A23G 9/26 (2006.01). № у 2018 04708; заявл. 27.04.2018; опубл. 25.10.2018. Бюл. № 20.
6. Пристрій для визначення криоскопічної температури харчових продуктів: пат. 129352 Україна: МПК G01N 33/02 (2006.01), G01K 7/02(2006.01). № у 2018 05100; заявл. 08.05.2018; опубл. 25.10.2018. Бюл. № 20.
7. *Ялчак В. Ф., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г.* Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1. С. 113-118.
8. *Стручаєв Н. И.* Определение количества теплоты при замораживании и размораживании // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Вип. 165, т. 2. Харків, 2015. С. 130-131.
9. *Ялчак В. Ф., Ялчак Ф. Е., Стручаєв Н. И.* Теплофизические расчеты при замораживании и дефростации плодоовощной продукции // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 1. С. 196-204.
10. Флюїдизаційний пристрій: пат. 131546 Україна: МПК F25D 13/06 (2006.01). № у 2018 06110; заявл. 01.06.2018; опубл. 25.01.2019. Бюл. № 2.
11. *Ялчак В., Стручаєв Н., Тарасенко В.* Обоснование толщины подмороженного слоя кусочков кабачков и тыквы в процессе подготовки к длительному хранению в замороженном виде // MOTROL. 2008. Т. 10 А. С. 187-190.
12. *Дідур В. А., Стручаєв М. І.* Теплотехніка, теплопостачання

і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник. Київ : Аграрна освіта, 2008. 233 с.

13. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Підвищення енергоефективності охолоджувача молока // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 243-247.

14. Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Верхованцева В. О. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження зерна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 1: Технічні науки. С. 3-8.

15. Temperature dynamics during thawing of raspberry layer / U. Iljins, S. Kampuse, A. Aboltins, I. Skrupskis // Third Nordic-Baltic agrometrics conference. Latvia, 2001. P. 70-75.

16. Heat Transfer Process Investigation in Frozen Berries with Changing Storage Temperature / S. Boca, A. Aboltins, I. Skrupskis, U. Gross, R. Ziedins // Journal of Agricultural Engineering. 2010. Vol. XLVII. P. 3-8.

17. Cheung L., Nienow A.W., Rowe P. N. Minimum fluidization velocity of a binary mixture of different sized particles // Chemical Engineering Science. 1974. Vol. 29, № 5. P. 1301 – 1303.

18. Predicting the Minimum Fluidization Velocity of Multicomponent Systems / J. Rincon, J. Guardiola, A. Romero, G. Ramos // Journal of Chemical Engineering of Japan. 1994. Vol. 27, № 2. P. 177 – 181.

## КАСКАДНОЕ МОРОЗИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Стручаєв Н. И., Алексеєнко В. А., Петриченко С. В.,  
Верхованцева В. А.

**Аннотація** – стаття посвящена технології і обладнанню для виробництва заморожених фруктів. Предложена конструкція каскадного морозильного пристрою, як варіант удосконалення холодильного технологічного обладнання для заморожування мелкоштучних продуктів в щільному взвешеному шарі з використанням швидкого заморожування і подальшого тривалого низкотемпературного зберігання фруктової і овочної продукції.

## CASCADE FREEZER

N. Struchaev, V. Oleksiienko, S. Petrychenko, V. Verkholantseva

### *Summary*

The article is devoted to the technology of frozen food production and presents the cascade freezer offered by us as an option for improving refrigeration equipment for freezing fine-grained products in a dense weighed layer using rapid freezing and subsequent long-term low-temperature storage of fruit and vegetable products. The purpose of this work is to analyze the process of fluidization and semifluidization freezing of fine-grained products.

The cascade freezer offered by us includes a download unit, a heat-insulated chamber for freezing products with a mesh conveyor, connected to the evaporator of the refrigeration unit through the low-temperature air distribution channels, the fan, the discharge window, a mesh hollow rotating drum sloping in front of the mesh conveyor. The transportation means is made in the form of a vibrotransporter with an eccentric mechanism and springs. The product to be frozen is continuously supplied by the boot knot to the mesh hollow rotary drum, simultaneously including the fan. A rotating motion and free fall of the product begins and a vigorous heat exchange with low-temperature air, which leads to the frosting of the outer layer. Then the product is poured onto the net vehicle where, under the action of the eccentric mechanism and the springs, its vertical and horizontal displacement begins and a fluidized bed is formed.

The use of a cascade freezer due to the installation of a mesh hollow rotating drum, and a mesh conveyor in the form of a vibrotransporter with eccentric mechanism and springs, simplifies the design, reduces energy costs, improves the stability of the suspended product layer that is frozen, increases the heat transfer rate in the fluidized bed and productivity of the freezing process as a whole. Energy costs for the creation of a fluidized bed in comparison with mechanical throwing at the freezing of raspberries in 1,5 ... 3,5 times bigger.

УДК 621.225

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-103-109

## ПРОБЛЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДВИГУНІВ У ГІДРАВЛІЧНОМУ АГРЕГАТІ

Гавриленко О. М., здобувач\*  
Сумський державний університет  
Тел/факс (0542) 68-78-55

**Анотація** – розглянуто роботу багатодвигунного гідравлічного агрегату, в якому необхідно забезпечити синхронне переміщення двох гідравлічних двигунів, що працюють на спільне навантаження. Виконано аналіз схем синхронізації гідродвигунів, розглянуто фактори, які впливають на узгодження руху вихідних ланок двигунів (штоків гідроциліндрів, роторів гідромоторів). Розглянуто схеми синхронізації гідравлічних двигунів з дросельними та об'ємними дільниками потоку. Проведена оцінка похибок синхронізації двигунів в усталених режимах роботи гідравлічного агрегату.

За результатами аналізу поставлені задачі по вдосконаленню процесу синхронізації руху гідравлічних двигунів у багатодвигунному гідравлічному агрегаті.

**Ключові слова** – багатодвигунний агрегат, гідравлічний двигун, синхронізація.

*Постановка проблеми.* Досить часто для забезпечення роботи технологічного обладнання застосовуються декілька робочих органів, які забезпечують переміщення одного елемента. Тому з'являється необхідність у синхронізації їх руху. Синхронізації руху робочих органів полягають у забезпеченні строго погодженого в часі їхніх переміщень, швидкостей, прискорень. Оскільки розглядаються робочі органи, для забезпечення руху яких застосовуються гідравлічні двигуни (гідроциліндри, гідромотори), необхідно забезпечити синхронне переміщення вихідної ланки гідродвигуна (шток гідроциліндра, вал гідромотора).

Синхронність переміщення вихідних ланок гідродвигунів залежить від таких параметрів [1]:

- величина й характер робочих навантажень;
- внутрішнього й зовнішнього тертя в гідравлічних і механічних ділянках привода;
- величини переміщень, швидкості й прискорення рухів;
- здатності рідини стискуватися й наявності в ній повітря;

---

© Гавриленко О. М.

\*Науковий керівник – к. т. н., доц. Кулініч С. П.



- жорсткості вузлів привода;
- температурних змін у механічних і гідравлічних ділянках;
- в'язкості робочої рідини;
- відхилення від номінальних значень і зміни розмірів і характеристик робочих органів та контрольно-регулюючої апаратури.

Для обґрунтування раціонального методу синхронізації руху гідравлічних двигунів в багатодвигунному гідравлічному апараті необхідно проаналізувати відомі методи та вибрати схему для подальшого детального дослідження.

*Аналіз останніх досліджень.* Для синхронізації руху гідродвигунів використовуються дросельні й об'ємні пристрої [3].

На рис.1 приведено схему синхронізації руху гідравлічних двигунів встановленням незалежних регульованих дроселів [2]. Синхронізація швидкості руху штоків гідроциліндрів Ц1,

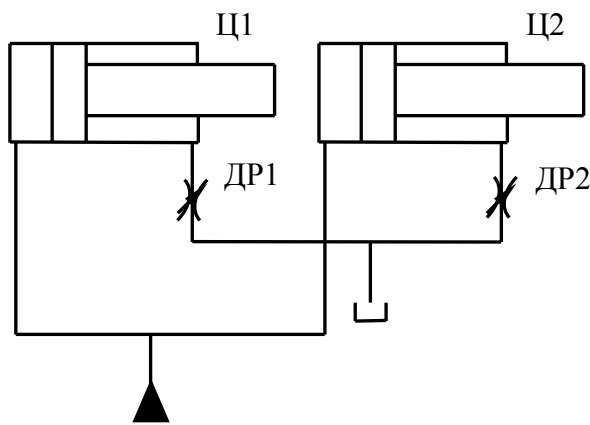


Рис. 1. Синхронізація швидкості руху штоків гідроциліндрів встановленням дроселів.

Ц2 забезпечується регулюванням витрат робочої рідини через дроселі ДР1 та ДР2. Регулюванням площі робочих вікон дроселів можна отримати задане відношення витрат через них, а значить і задане відношення швидкостей руху. Недоліком даної схеми синхронізації є залежність витрат через дроселі від перепаду тиску на них, а перепад тиску в свою чергу залежить від навантаження гідравлічних двигунів.

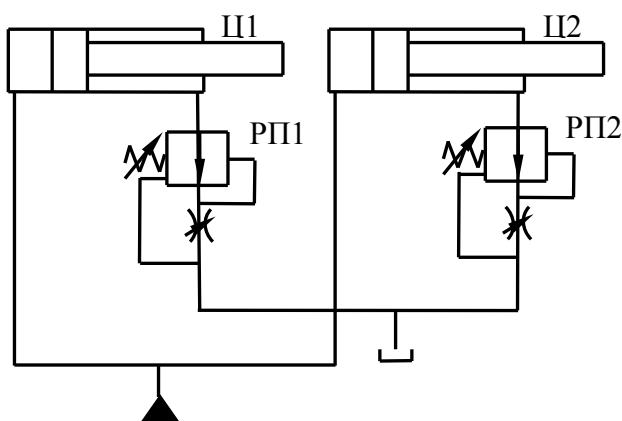


Рис. 2. Синхронізація швидкості руху штоків гідроциліндрів встановленням регуляторів потоку.

Для зменшення похибки синхронізації замість регульованих дроселів можна встановити регулятори потоку рідини (рис. 2). Регулятори потоку менш чутливі до зміни перепаду тиску, тому точність синхронізації швидкості руху гідравлічних двигунів буде вищою.

Для синхронізації руху гідравлічних двигунів застосовують також спеціальні гідравлічні апарати – дільники та суматори потоку рідини. Вони ділять потік рідини на дві частини в потрібному співвідношенні.

Робоча рідина від джерела живлення через розподільник поступає на вхід дільника потоку (рис. 3, а). Далі через нерегульовані дроселі ДР1 та ДР3 у торцеві камери золотникового розподільника. З торцевих камер через регульовані дроселі ДР2 та ДР4 до об'ємних гідродвигунів (рис. 3, б). Золотник знаходиться у стані рівноваги тільки за умови рівності тисків  $p_1$  та  $p_2$ . За цієї умови перепад тисків на нерегульованих дроселях буде однаковим, тому й витрати робочої рідини через них будуть однаковими.

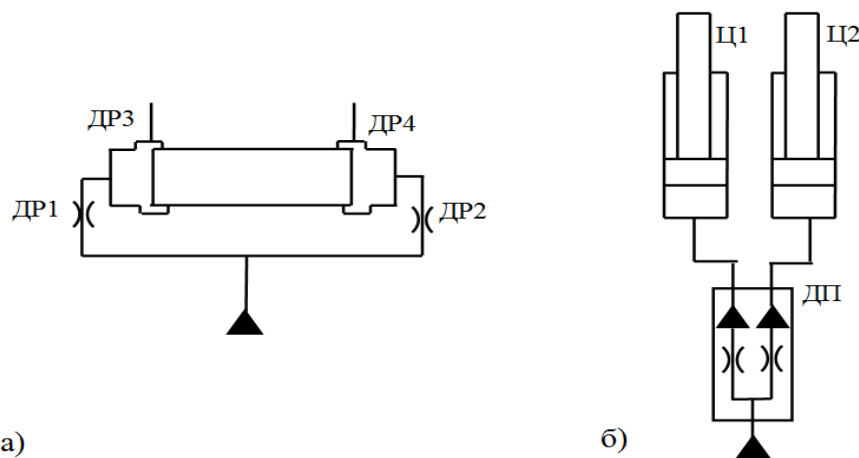


Рис. 3. Синхронізація швидкості руху штоків гідроциліндрів встановленням дільника потоку.

Об'ємні дільники потоку (рис. 4) мають більшу точність синхронізації, менш чутливі до несиметричності навантажень на гідравлічних двигунах.

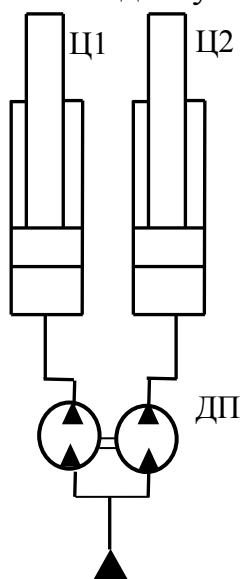


Рис. 4. Об'ємний дільник потоку.

Робоча рідина від насоса поступає до дозатора обертань – два насос-мотора посаджені на спільний вал. Відношення витрат робочої рідини в гідролініях залежить від співвідношення робочих об'ємів насос-моторів. При номінальних навантаженнях на гідравлічних двигунах тиски в напірних лініях однакові, насос-мотори дозатора працюють у рівних умовах і витрати робочої рідини в лініях однакові. При несиметричному навантаженні одна з машин працює в режимі насоса, а інша в режимі гідромотора. Внаслідок цього

співвідношення витрат рідини в лініях буде відрізнятися від номінального.

Для зменшення похибок регулювання співвідношення витрат робочої рідини інколи паралельно дозаторам можуть включатись дроселі [1].

*Основна частина.* При синхронізації швидкості руху за допомогою встановлених у зливній лінії регульованих дроселів (рис. 1), швидкість руху поршнів гідроциліндрів залежить від витрат робочої рідини через дроселі

$$v_1 = \frac{Q_1}{S_2}, \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{Q_2}{S_2}, \quad (2)$$

де  $v_1, v_2$  – швидкості руху штоків гідроциліндрів;  $Q_1, Q_2$  – витрати рідини в порожнинах гідроциліндрів,  $S_2$  – площа поршня зливної порожнини.

Витрати рідини через дроселі

$$Q_1 = \mu S_{op} \sqrt{\frac{2\Delta p_1}{\rho}}, \quad (3)$$

$$Q_2 = \mu S_{op} \sqrt{\frac{2\Delta p_2}{\rho}}, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрат дроселів;  $S_{op}$  – площа дроселя;  $\Delta p_1, \Delta p_2$  – перепади тиску на дроселях;  $\rho$  – густина рідини.

Перепади тиску на дроселях за умови відсутності втрат тиску в трубопроводах та направляючих розподільниках

$$\Delta p_1 = p_n \frac{S_1}{S_2} - \frac{F_1}{S_2}, \quad (5)$$

$$\Delta p_2 = p_n \frac{S_1}{S_2} - \frac{F_2}{S_2}, \quad (6)$$

де  $p_n$  – тиск на виході з насосу;  $S_1$  – площа поршня напірної порожнини;  $F_1, F_2$  – зусилля на штоках.

З урахуванням (1-6) відношення максимальне відношення швидкостей руху штоків в гідроциліндрах буде

$$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_{max} = \sqrt{1 + \frac{(F_1 - F_2)_{max}}{S_2 \Delta p_{2min}}}. \quad (7)$$

З (7) видно, що мінімальна похибка синхронізації буде за умови, що  $\frac{(F_1 - F_2)_{max}}{S_2 \Delta p_{2min}}$  наближається до 0.

Тобто, несиметричність навантаження призводить до суттєвого відхилення швидкостей руху штоків гідроциліндрів.

Для схеми, приведеної на рис. 4 (об'ємний дільник потоку) швидкості руху штоків гідроциліндрів, як і для синхронізації встановленням незалежних дроселів (рис. 1), визначаються за формулами (1, 2). Витрати рідини в порожнинах гідроциліндрів визначаються за формулами (вважаємо, що навантаження несиметричне, зусилля  $F_1 > F_2$ , тобто гідромашина 1 працює в режимі насоса, а гідромашина 2 – в режимі гідромотора).

$$Q_1 = V_{0.1} n_1 \eta_{o1}, \quad (8)$$

$$Q_2 = \frac{V_{0.2} n_2}{\eta_{o2}}, \quad (9)$$

де  $V_{0.1}$ ,  $V_{0.2}$ , – робочі об'єми гідромашин;  $n_1$ ,  $n_2$  – частоти обертання валів гідромашин;  $\eta_{o1}$ ,  $\eta_{o2}$  – об'ємні коефіцієнти корисної дії гідромашин.

З (8, 9), враховуючи (1, 2) та  $V_{0.1} = V_{0.2}$  (гідромашини однакові) і  $n_1 = n_2$  (вали гідромашин жорстко з'єднані), отримаємо відношення швидкостей руху штоків гідроциліндрів

$$\left( \frac{v_1}{v_2} \right)_{max} = \eta_{o1} \eta_{o2}, \quad (10)$$

Якщо прийняти, що

$$\eta_{oi} = 1 - (1 - \eta_{o.ном}) \frac{\Delta p}{\Delta p_{ном}}, \quad (11)$$

та

$$\Delta p = \frac{F_{max} - F_{min}}{2S_1}, \quad (12)$$

$$\Delta p_{ном} = \frac{F_{max}}{S_1}, \quad (13)$$

де  $\eta_{o.ном}$  – номінальний об'ємний коефіцієнт корисної дії гідромашини;  $\Delta p_{ном}$  – номінальний перепад тиску гідромашини, отримаємо

$$\left( \frac{v_1}{v_2} \right)_{max} = \left[ 1 - (1 - \eta_{o.ном}) \frac{F_{max} - F_{min}}{2F_{max}} \right]^2. \quad (14)$$

З формул (7, 14) видно, що різниця швидкостей в усталеному режимі роботи залежить від несиметричності навантаження.

*Висновки.* Аналіз роботи синхронізованих гідравлічних двигунів в гідравлічному агрегаті показав, що існуючі методи синхронізації не можуть забезпечити абсолютної синхронності руху вихідних ланок гідродвигунів. Тому є необхідність у подальшому дослідженні процесу синхронізації для покращання роботи гідравлічного агрегату.

Література:

1. *Навроцкий К. Л.* Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. Москва: Машиностроение, 1991. 384 с.
2. Гідроприводи та гідро- пневмоавтоматика: підручник / В. О. Федорець та ін. Київ: Вища школа, 1995. 464 с.
3. *Сахно Ю. А.* Многопоточные гидравлические делители. Москва: Машиностроение, 1988. 157 с.

## ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ

Гавриленко А. Н.

*Аннотация* – рассмотрена работа многодвигательного гидравлического агрегата, в котором необходимо обеспечить синхронное перемещение двух гидравлических двигателей, работающих на совместную нагрузку. Выполнен анализ схем синхронизации гидромоторов, рассмотрены факторы, влияющие на согласование движения выходных звеньев двигателей (штоков гидроцилиндров, роторов гидромоторов). Рассмотренные схемы синхронизации гидравлических двигателей характеризуются постоянной погрешностью скорости движения гидравлических двигателей в установившемся режиме. По результатам анализа поставлены задачи по совершенствованию процесса синхронизации движения гидравлических двигателей в многодвигательном гидравлическом агрегате.

## PROBLEMS OF ENGINES SYNCHRONIZATION IN HYDRAULIC UNIT

O. Havrylenko

*Summary*

The efficiency of using modern technological equipment, which is a complex automated complex with a large number of executive bodies, largely depends on the ability to predict the characteristics of

power drives as a part of this equipment. In the overwhelming majority of modern technological machines for the use of working bodies, hydraulic systems which develop significant efforts at small dimensions and masses are used. For some technological processes it is necessary to ensure the synchronization of the movements of several working bodies.

Therefore, the study of the hydraulic drive, which provides synchronization of the transfer of working units of process equipment, is an actual scientific problem, which has practical application in the industry.

The synchronization of the movement of working bodies is an ensuring of strictly coordinated in time of their movements, speeds, accelerations. Since the working bodies of the hydraulic drive are considered, this is about the synchronization of displacement of hydraulic motors.

The work of a multi-engine hydraulic unit, in which it is necessary to ensure the synchronous movement of two hydraulic motors moving on a joint load, is considered. The analysis of the schemes of hydraulic motors synchronization is carried out. Factors which influence on the coordination of movement of the source segments of engines (hydrocylinder stocks, rotors of hydraulic motors) are considered. The schemes of synchronization of hydraulic motors with throttle and volume flow dividers are presented. An estimation of errors of engines synchronization in the established modes of operation of the hydraulic unit is carried out.

The considered schemes of hydraulic motors synchronization are characterized by a constant error of hydraulic motors speed in the steady state. It has been established that in the case of asymmetric load, the synchronization error at the position of the hydraulic motor starting point is proportional to the displacement (time of motion).

The tasks for improving the process of synchronization of hydraulic motors motion in a multi-engine hydraulic unit are set.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕЧІЇ В'ЯЗКО-ПЛАСТИЧНОЇ РІДИНИ ПО КАНАЛУ ФОРМУВАЧА ПРИ ОБ'ЄМНОМУ ДРУЦІ

Бойко В. С., к. т. н.,

Загорко Н. П., к. т. н.,

Тарасенко В. Г., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена експериментальному дослідженню течії в'язко-пластичної рідини через круглий капіляр сопла при об'ємному формуванні харчових продуктів, досліджені основні параметри, які впливають на процес течії, стан між напругою зсуву і швидкістю зсуву, що характеризує поведінку рідини при течії по каналу формувача.

**Ключові слова** – в'язкопластична рідина, формування, об'ємний друк, капіляр, екструдент.

*Постановка проблеми.* Технічний прогрес пред'являє вимоги перспективності, гнучкості, високої продуктивності до технологій виробництва харчових продуктів, до таких технологій відноситься об'ємний друк, що реалізується методом послідовного нанесення валками продукту з одночасним їх спіканням. Технологія об'ємного друку потребує високої точності здійснення процесу, тому потребує математичного забезпечення для розрахунку та оптимізації технологічних і експлуатаційних параметрів.

*Аналіз останніх досліджень.* 3D-друк разом з альтернативною енергетикою та біотехнологіями є невід'ємною частиною картини майбутнього. Вже сьогодні тривимірний друк стає важливою частиною нашого життя. 3D-принтер здатен створювати предмети методом пошарового нанесення речовини на моделі, які створені 3D-редактором. Технологія об'ємного друку вживається у багатьох сферах: у будівництві, в аерокосмічній галузі, в медицині, в харчовій промисловості тощо.

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є аналіз процесу течії в'язко-пластичної рідини по каналу формувача. Для проведення досліджень витікання в'язко-пластичного продукту з наконечника (сопла) головки об'ємного формувача була розроблена і виготовлена експериментальна установка (прототип головки формувача зі змінними

накінечниками). Визначено параметри течії в'язко-пластичної рідини при об'ємному формуванні харчових продуктів [1, 2].

*Основна частина.* Перебіг в'язко-пластичної рідини через круглий капіляр сопла формувача реалізується внаслідок різниці тисків на вході в капілярний канал і на виході з нього. При цьому має місце параболічний розподіл швидкостей шарів в радіальному напрямку всередині потоку рідини.

У зв'язку з тим, що в'язко-пластичні рідини найчастіше мають значну в'язкість, для них характерний ламінарний рух, навіть при відносно великих перепадах.

Для практичних розрахунків параметрів, в'язко-пластичного продукту, в які входять складові, отримані експериментальним шляхом, пропонується наступний алгоритм розрахунку.

До числа в'язко-пластичних рідин відносяться: хлібопекарське і макаронне тісто, кондитерські маси, фарші, пасти, пюре, різні креми та інші продукти, сировина і напівфабрикати [3]. Рух неньютонівських рідин має місце при їх нагнітанні шнеками, валками, плунжерами, шестеренними насосами, транспортуванні по каналах різного профілю, довжини і діаметру.

Апарат для об'ємного друку, як правило, працює на принципі екструзії. Він складається з блоку управління з керуючою програмою, керуючим роботом. За алгоритмом програми блок подає команди до електроприводу столу і формувачу в трьох ступенях свободи, екструдера з формуючою головкою і компресора, що створює тиск в екструдері (рис. 1).

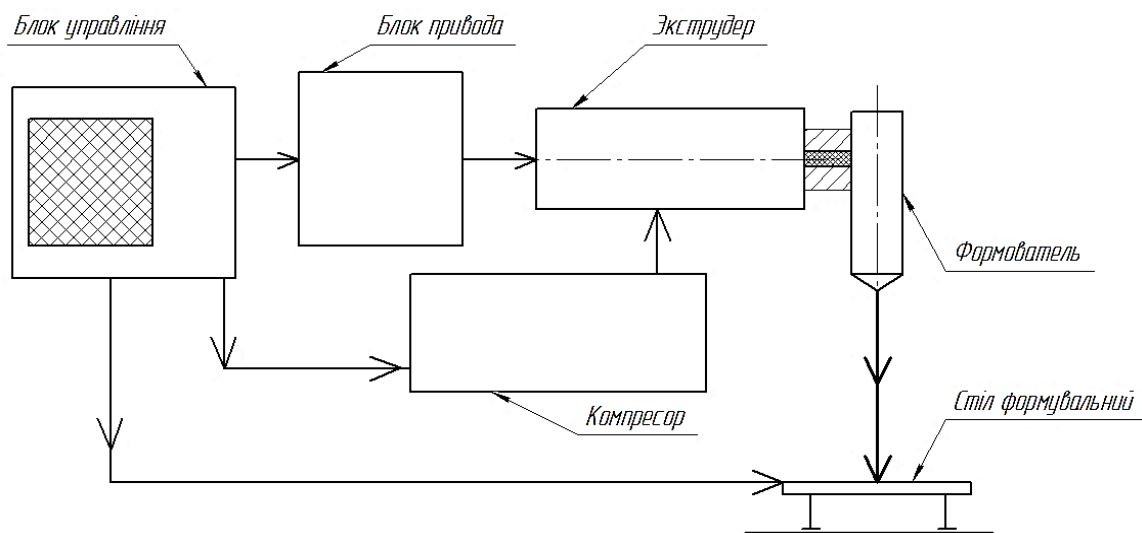


Рис. 1. Схема апарату для об'ємного друку харчових виробів.

Одним з основних приладів апарату є формуюча головка, від якої залежить товщина валка, який укладається, швидкість руху столу, продуктивність апарату.



Для конструювання формуючої головки треба експериментально визначити деякі параметри в'язко-пластичної рідини, яка буде використана в якості сировини. Ці параметри визначаються за допомогою експериментальної формуючої головки з плоскими або круглими каналами. Схема експериментальної головки з щілинним і круглим капіляром представлена на (рис. 2).

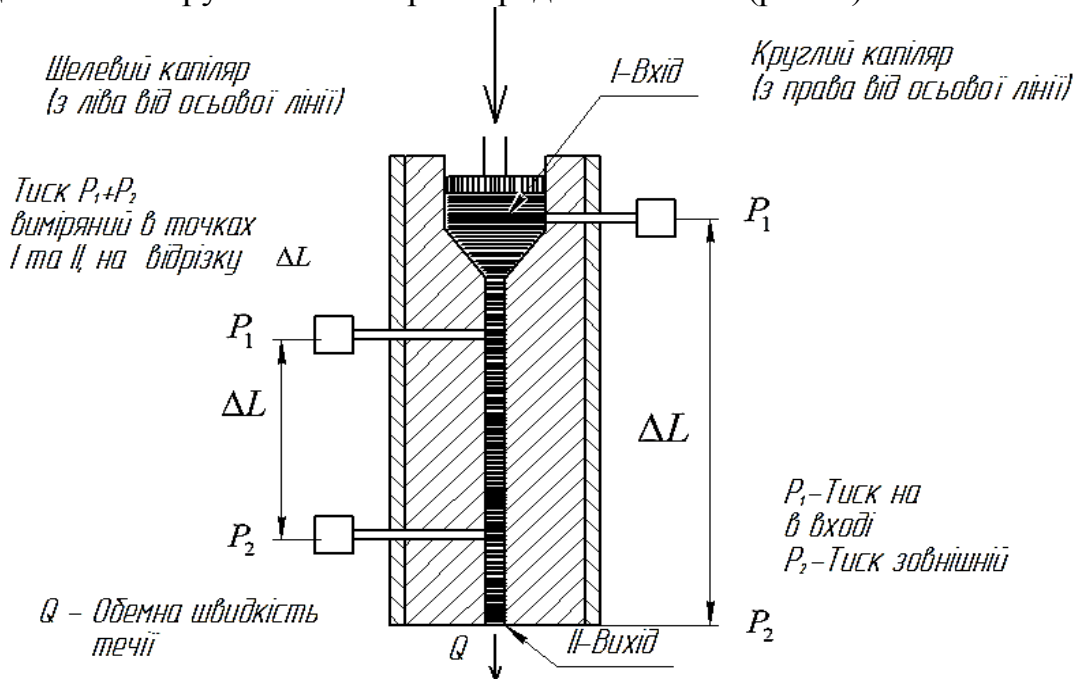


Рис. 2. Схема капілярного наконечника формувальної головки.

Рідина продавлюється через щілинний капіляр плунжером, екструдером або іншими джерелами тиску з постійною або програмованою (змінною) швидкістю течії. Датчики тиску розташовані по довжині капіляра на відстані  $\Delta L$  і, як правило, знаходяться досить далеко як від входу в капіляр так і від виходу. Два датчика тиску вимірюють перепад тисків.

$$\Delta P = P_1 - P_2, \text{ Па}, \quad (1)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – тиск, виміряний в точках I і II, розділених відстанню  $\Delta L$ , Па.

Конструкція формуючої головки ідентична пристрою реометра з круглими капілярами діаметром від 1 до 4 мм.

При експериментальних дослідженнях з круглими каналами відповідна різниця тисків не може бути визначена всередині каналу. У цьому випадку оцінюють різницю між тиском у резервуарі при вході в канал і навколишнім тиском при виході з наконечника формуючої головки.

Швидкість течії рідини  $Q$  (см<sup>3</sup>/хв) задається швидкістю поступального руху плунжера або частотою обертання приводу дозуючого насоса. Величину  $Q$  можна розрахувати наступним чином: зважити екструдент, що витік з капіляра за певний проміжок часу, потім за відомою масою і щільністю знайти швидкість течії.

$$Q = \frac{M}{\rho \cdot t} \text{ (см}^3\text{/хв)}, \quad (2)$$

де  $M$  – маса екструдента, кг;  $\rho$  – щільність екструдента, кг/см<sup>3</sup>;  
 $t$  – час процесу, с.

Теоретичним шляхом швидкість екструзії  $Q$  можна розрахувати, попередньо дослідним шляхом визначити в'язкість  $\mu$ , різницю тисків  $\Delta P$  і довжину каналу  $L$  за рівнянням.

$$Q = \frac{\pi R^4 \cdot \Delta P}{8 \mu \cdot L}. \quad (3)$$

Розрахувавши теоретично об'ємну витрату рідини  $Q$ , можна розрахувати основні показники руху в'язко-пластичної рідини в каналах круглого і щілинного перетину – швидкість зсуву, напругу зсуву, а також в'язкість використовуваного матеріалу.

Необхідно встановити, що параметри в'язко-пластичних рідин, на відміну від ньютонівських рідин (де вони носять лінійний характер) виражаються складними залежностями [4]. Тому для в'язко-пластичних рідин використовується поняття про уявну в'язкість. Під уявною в'язкістю  $\mu$  розуміють в'язкість такої ньютонівської рідини, швидкість деформації якої під дією заданої напруги зсуву дорівнює швидкості деформації даної в'язко-пластичної рідини [5].

Поправка Беглі. Дослідні дані, отримані на експериментальній установці, потребують коригування, що пов'язано з ефектом входу і виходу матеріалу в круглий канал, який негативно впливає на перепад тисків по довжині каналу, пов'язаний з в'язкістю пластичних продуктів.

Беглі запропонував метод визначення цих поправок, який полягає в тому, що випробування даного матеріалу призводять з декількома капілярами одного і того ж діаметру  $D$ , але різної довжини  $L$ .

Крім відношення довжини капіляра до діаметру ( $L/D$ ), наприклад 10, 30, 40, всі інші умови вимірювання ідентичні.

Якщо відкладати значення  $\Delta P$  при фіксованій швидкості зсуву  $\dot{\gamma} = Const$  в залежності від  $L/D$ , отримані при вимірюванні з декількома капілярами різної довжини, можна отримати цілий ряд прямих (рис. 2). Ці прямі можуть бути екстрапольовані (продовжені) до перетину з віссю ординат при  $\Delta P_c$ . Це падіння тиску відноситься до вхідного ефекту для капіляра з довжиною  $L=0$ . Можна екстрапольовати прямі  $\Delta P(L/D)$  і ще далі - до перетину з віссю абсцис.

При цьому отримаємо негативні значення  $\Delta L$ , які будуть додані до дійсної довжини капіляра  $L$ , далі буде перепад тиску, еквівалентний вхідному ефекту.

Тоді внесення поправки в напругу зсуву означає або віднімання  $\Delta P_c$  з виміряної величини падіння тиску  $\Delta P$ , або додавання уявної додаткової довжини  $\Delta L$  до довжини капіляра.

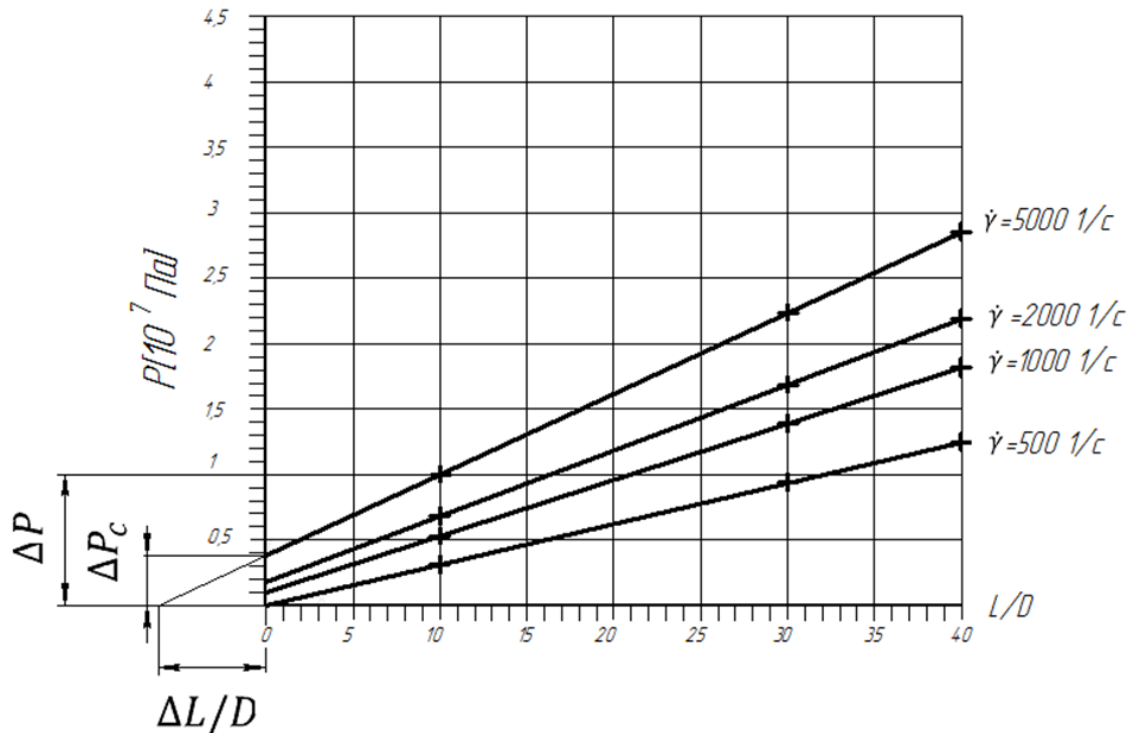


Рис. 3. Діаграма Беглі для визначення вхідних ефектів за експериментальними даними для круглих капілярів.

Таким чином, скоригована величина напруги зсуву може бути розрахована за співвідношенням:

$$\tau_{\text{кор}} = (\Delta P - \Delta P_c) \cdot \frac{R}{2L} \quad (4)$$

$$\tau_{\text{кор}} = \frac{R}{2(L + \Delta L)} \cdot$$

Поправка Вайссенберга-Рабіновича. При випробуванні неньютонівських рідин, як для круглих, так і для плоских капілярів, необхідно введення поправки, пов'язаної з природою рідини, що випробовується.

Після математичної обробки рівнянь швидкості течії в'язкопластичного продукту при екструзії і уявній швидкості зсуву було отримано: скориговані рівняння істинної швидкості зсуву  $\gamma_{\text{іст}}$  для випадку круглих капілярів шляхом введення поправки Вайссенберга "S".

$$\gamma_{\text{іст}} = \frac{\gamma}{4} (3 + S), \quad (5)$$

де  $\gamma_{\text{іст}}$  – справжня (скоригована) швидкість зсуву для в'язко-пластичних рідин;  $\gamma_{\text{к.с.}}$  – здається швидкість зсуву для неньюновської рідини;  $S$  – поправка Вайсенберга.

Поправка Вайсенберга "S" отримана диференціюванням залежності швидкості зсуву від напруги зсуву, побудованої в подвійних логарифмічних координатах:

$$S = \frac{d \lg \gamma_{\text{к.с.}}}{d \lg \tau} = \text{tg} \alpha. \quad (6)$$

Диференціалом логарифмічної кривої є нахил кривої при даній уявній величині швидкості зсуву. Для в'язко-пластичних рідин тангенс кута нахилу кривої завжди буде більше 1. Це означає, що для таких рідин справжня швидкість зсуву завжди буде більше, ніж здається.

*Висновки.* В результаті проведеного аналізу існуючих технологій об'ємного друку різних матеріалів (стереолітографія, лазерне спікання порошкових матеріалів, пошаровий друк розплавленою полімерною ниткою, струменевим моделюванням, склеюванням порошкових матеріалів, ламінуванням листових матеріалів), було встановлено, що дані технології застосовуються в різних виробничих сферах промисловості (будівельній, машинобудівній, медичній, харчовій, космічній, робототехнічній тощо). Однак, не всі розробки можуть бути використані в харчовому виробництві. Найбільш застосовна технологія пошарового друку харчових продуктів за допомогою принтера і об'ємного формувача.

#### Література:

1. *Бойко В. С.* Теоретичне обґрунтування течії в'язко-пластичної рідини по каналу формувача при об'ємному друці (3D) // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1. С. 119-124.

2. *Бойко В. С., Тарасенко В. Г., Муравйов А. М.* Визначення параметрів течії в'язко-пластичної рідини при об'ємному формуванні харчових продуктів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 1. С. 318-325.

3. *Рейнер М.* Реология. Москва: Колос, 1965. 410 с.

4. *Уилкинсон У. Л.* Неньютоновские жидкости: Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / пер. с англ. З. П. Шульмана. Москва: Мир, 1964. 520 с.

5. *Мачихин Ю. А., Мачихин С. А.* Инженерная реология пищевых материалов. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1987. 465 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ПО КАНАЛУ ФОРМОВАТЕЛЯ ПРИ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ**

Бойко В. С., Загорко Н. П., Тарасенко В. Г.

*Аннотация* – статья посвящена экспериментальному исследованию течения вязко-пластической жидкости через круглый капилляр сопла при объемном формировании пищевых продуктов, исследованы основные параметры, влияющие на процесс течения, состояние между напряжением смещения и скоростью сдвига, которое характеризует поведение жидкости при течении по каналу формователя.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE FLOW OF VISCO-PLASTIC LIQUID ON THE CHANNEL OF THE FORMER AT THE VOLUME PRINT**

V. Boiko, N. Zahorko, V. Tarasenko

### *Summary*

The article is devoted to an experimental study of the flow of a viscous-plastic fluid through a circular nozzle capillary during volumetric formation of food products. The main parameters affecting the flow process, the state between the bias voltage and shear rate, which characterizes the behavior of the fluid during flow through the former.

Technical progress demands the promise, flexibility, and high productivity of food production technologies; such technologies include volumetric printing, which is realized by the method of successive application of rolls of the product with their simultaneous sintering. The technology of volume printing requires high accuracy of the process, therefore, requires mathematical support for the calculation and optimization of technological and operational parameters.

3D printing, along with alternative energy and biotechnology, is an integral part of the future picture. Today, three-dimensional printing becomes an important part of our lives. The 3D printer is capable of creating objects by layer-by-layer method on models that are created by a 3D editor. The technology of volume printing is used in many areas: in construction, in the aerospace industry, in medicine, in the food industry, and so on.

As a result of the analysis of existing technologies of volume printing of various materials, it was established that these technologies are used in various industrial spheres of industry (construction, engineering, medical, food, space, robotics, etc.). However, not all developments can be used in food production. The most applicable technology of layer printing of food products, with the help of a printer and a volume former.

УДК 637.134

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-117-129

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ ЩІЛЬОВОГО ТИПУ

Самойчук К. О., д. т. н.,  
Ковальов О. О., аспірант,<sup>\*</sup>  
Паляничка Н. О., к. т. н.,  
Колодій О. С., к. т. н.,  
Лебідь М. Р., студент

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного  
Тел. (0619) 42-13-06*

**Анотація** – у статті наведено результати експериментальних досліджень процесу гомогенізації в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків щілинного типу. Визначено та обґрунтовано діапазон коливань змінних факторів процесу. Встановлено залежність між середнім діаметром жирових кульок після диспергування, швидкістю подачі знежиреного молока та діаметром камери гомогенізації в місці найбільшого звуження. Проведено обробку експериментальних даних та побудовано графіки, які демонструють залежність середнього діаметра жирових кульок від швидкості подачі вершків, жирності вершків та діаметру камери гомогенізації в місці найбільшого звуження. Представлено та проаналізовано залежність середнього діаметра жирових кульок від жирності вершків та ширини кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків. Представлено графік, що демонструє залежність потужності диспергатора від продуктивності експериментального зразку для експериментальних та теоретичних значень потужності приводу насосів подачі знежиреного молока та вершків і загальної потужності процесу.

**Ключові слова:** щілинний гомогенізатор, молоко, енергетичні витрати, вершки, середній діаметр, жирова кулька.

*Постановка проблеми.* Диспергування належить до нормативних операцій, що використовуються у більшості технологічних процесів з переробки молочної продукції. Її характерною ознакою для найбільш поширених у промисловості конструкціях клапанних машин є те, що при забезпеченні середнього

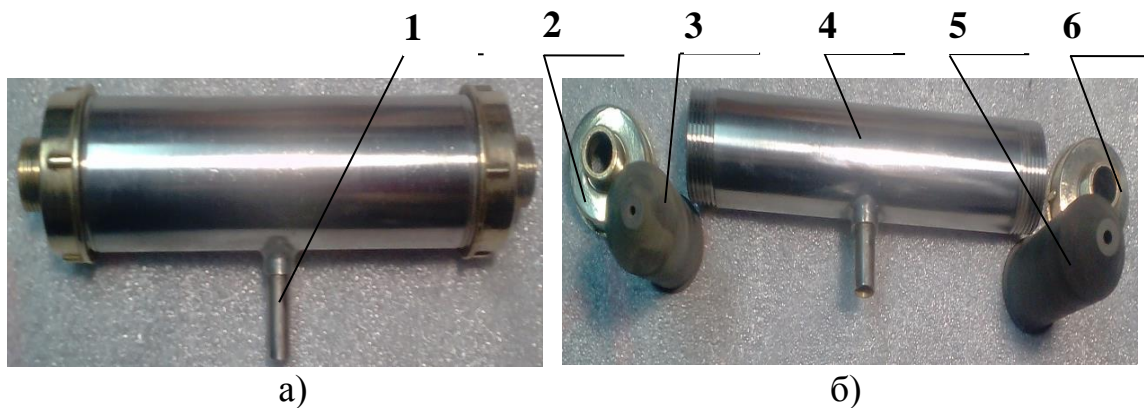
---

© Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Колодій О. С., Лебідь М. Р.

<sup>\*</sup> Науковий керівник – д. т. н., доц. Самойчук К. О.

діаметру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень (0,8–1,2 мкм) енергетичні витрати процесу складають понад 8 кВт·год/т гомогенізованого молока [1]. Підвищення енергоефективності процесу гомогенізації є основною задачею фахівців галузі та науковців. Однак, процес дослідження перспективних конструкцій гомогенізаторів ускладнюється відсутністю єдиної теорії процесу, що пояснюється мікроскопічним розміром жирових кульок, що складають менше 1 мкм та високих швидкостей руху молока, значення яких перевищують 100–150 м/с.

*Аналіз останніх досліджень.* Новітні дослідження перспективних конструкцій диспергаторів дозволяють стверджувати, що досягти суттєвого зниження енергетичних витрат на гомогенізацію можливо при використанні конструкцій, дія яких заснована на створенні максимальної різниці між швидкостями знежиреного молока та вершків [2]. Такий принцип можливо реалізувати в конструкції струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу [3]. Загальний вигляд та складові частини камери струминно–щільового гомогенізатора молока представлені на рис. 1а, б.



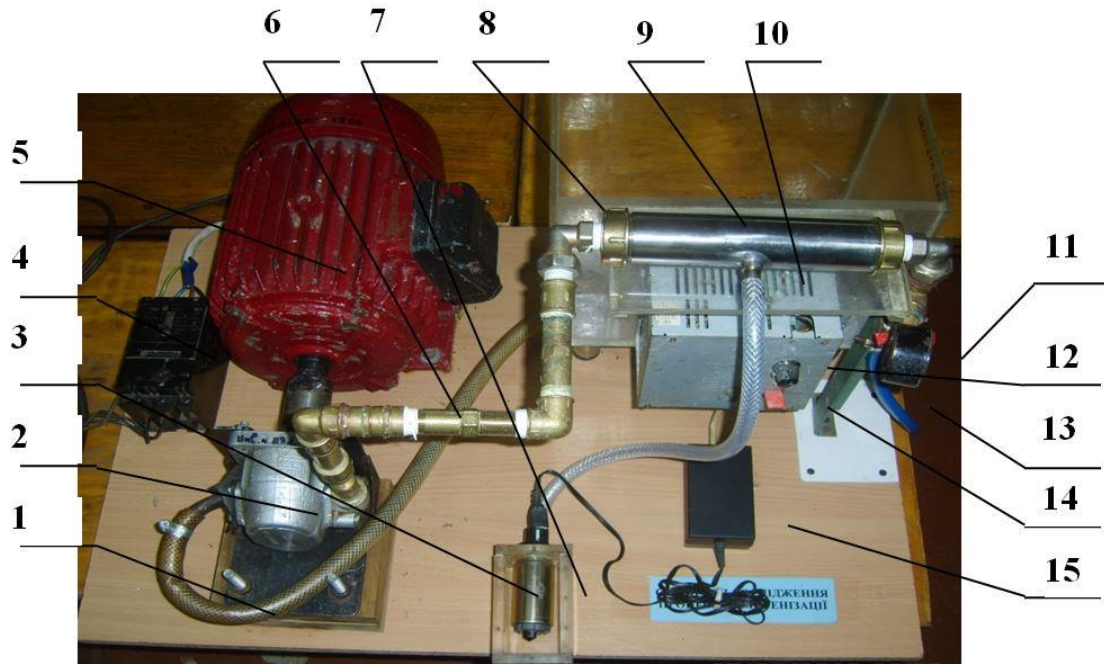
а) зовнішній вигляд; б) внутрішня будова; 1 – ємність з вершками; 2 – патрубок подачі знежиреного молока; 3 – профілююча вставка, що імітує звуження конфузору; 4 – корпус камери струминно–щільового гомогенізатора молока; 5 – вставка, що імітує розширення дифузору; 6 – патрубок відведення гомогенізованого молока.

Рис. 1. Фото струминно–щільинного гомогенізатора молока.

Камера струминного гомогенізатора молока (рис. 1 б) складається з корпусу 4 в якому монтуються вставки 3 та 5, які формують місце найбільшого звуження в центральній частині камери. Попередньо знежирене молоко подається крізь патрубок подачі 2, після чого досягає місце найбільшого звуження, що формується шляхом профілювання внутрішніх поверхонь камери, де до знежиреного молока, що в цьому місці має найбільшу швидкість з

ємності з вершками 1 у співвідношенні, що розраховується з рівняння матеріального балансу крізь щілину, що має невелику ширину та формується між конфузором та дифузором, подається певна кількість вершків, яка розраховується з рівняння матеріального балансу [4]. Гомогенізоване молоко відводиться крізь патрубок 6.

Розроблена на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика лабораторна установка струминно–щільового гомогенізатора молока представлена на рис. 2.



1 – гнучкий трубопровід для подачі знежиреного молока; 2 – насос шестеренний типу НШ; 3 – ємність з вершками; 4 – пакетний вимикач; 5 – електричний трифазний двигун; 6 – трубопровід; 7 – насос подачі дисперсної фази; 8 – ємність із знежиреним молоком; 9 – камера гомогенізації; 10 – гнучкий шланг з фіксатором для подачі вершків; 11 – манометр; 12 – частотний перетворювач з регулятором; 13 – гнучкий шланг для відведення гомогенізованого молока; 14 – тумблер запуску насоса подачі вершків; 15 – електричний привід насоса подачі вершків.

Рис. 2. Зовнішній вигляд лабораторної установки струминно–щільового гомогенізатора молока.

Лабораторна установка струминно–щільового гомогенізатора молока, зовнішній вигляд якої показано на рис. 2 складається з ємності зі знежиреним молоком 8, з якої воно надходить по гнучкому шлангу 1 до шестеренного насоса 2 типу НШ, який приводиться в дію від електричного трифазного двигуна 5, який запускається при включенні пакетного вимикача 4. Робочий тиск знежиреного молока регулюється шляхом перекриття дроселюючої засувки та



контролюється розташованим поруч з нею манометром 11. Дисперсійна фаза з насоса 2 крізь трубопроводи 6 подається до камери гомогенізації 9, де в місці найбільшого звуження до нього з ємності з вершками 3 за допомогою насосу 7 через гнучкий шланг 10 подаються вершки. Насос подачі вершків приводиться в дію при вмиканні до електричної мережі джерела живлення 15 та запуску тумблеру 14, при цьому необхідна кількість вершків забезпечується за допомогою частотного перетворювача з регулятором 12. Нормалізоване та гомогенізоване молоко відводиться крізь гнучкий шланг 13 у спеціальну ємність.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Для обґрунтування раціональних параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу необхідно визначити змінні та сталі фактори процесу та межі їх коливання, провести експериментальні дослідження, визначити характер зв'язку між основними параметрами гомогенізатора і середнім розміром жирових кульок після диспергування і виконання перевірки адекватності результатів аналітичних досліджень. Тому метою даної статті було визначення раціональних параметрів струминно-щільового гомогенізатора молока для забезпечення середнього діаметру жирових кульок після диспергування на рівні технологічно обумовлених значень та визначення потужності пристроїв для проведення гомогенізації. Для досягнення поставленої мети, вирішувалось декілька задач, зокрема визначались:

– сталі та змінні фактори процесу диспергування та межі їх коливання;

– характер залежності між шириною щілини струминно-щільового гомогенізатора молока та середнім діаметром жирових кульок після гомогенізації;

– залежність між діаметром камери в місці найбільшого звуження, жирністю і швидкістю подачі вершків та середнім діаметром жирових кульок після диспергування;

– характер залежності між потужністю насосів приводу подачі знежиреного молока, вершків та загальною потужністю, що витрачався на процес гомогенізації від продуктивності струминно-щільового гомогенізатора молока.

*Основна частина.* До змінних факторів процесу належить діаметр камери гомогенізації в місці найбільшого звуження, жирність дисперсної фази, ширина кільцевої щілини та швидкість подавання знежиреного молока.

Згідно результатів аналітичних досліджень та залежностей у найбільш близькій за будовою конструкції струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків, жирність дисперсної фази, що використовується для нормалізації має

знаходиться в діапазоні 10–40% [5]. При цьому нижня межа обумовлена зростанням енергетичних витрат для забезпечення необхідної жирності вихідного продукту, а верхня межа обґрунтована посиленням тенденцій до утворення вторинних агломерацій при використанні вершків більшої жирності. Для проведення експериментальних досліджень використовувались вершки жирністю 10, 25 та 40%.

Ширина кільцевої щілини згідно результатів аналітичних розрахунків має складати 0,1–0,9 мм. При цьому нижня межа діапазону обумовлена необхідністю забезпечення продуктивності гомогенізатора, а верхня обґрунтована стрімким збільшенням середнього діаметру жирових кульок після гомогенізації [6]. При цьому дослідження проводились при ширині щілини на рівні 0,1, 0,5, 0,9 мм.

Швидкість подавання знежиреного молока, згідно найбільш близької за будовою та принципом дії конструкції струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків має коливатись від 30 до 90 м/с. Нижня межа діапазону обґрунтована необхідністю створення різниці між швидкостями дисперсної та дисперсійної фаз, а верхня обумовлена суттєвим зростанням енергетичних витрат, що пов'язано з перебігом процесу по принципу клапанних гомогенізаторів [5]. При проведенні експериментальних досліджень швидкість подачі знежиреного молока на різних рівнях складала відповідно 30, 60, 90 м/с.

Діаметр камери гомогенізації в місці найбільшого звуження також є важливим параметром, що забезпечує зменшення розміру внутрішніх поверхонь камери, яке необхідне для створення максимальної швидкості потоку знежиреного молока в центральній частині камери, де до нього додаються вершки. Згідно результатів аналітичних розрахунків цей параметр має варіювати в межах 0,4–1,2 мм. При цьому нижня межа обумовлена необхідністю забезпечення продуктивності диспергатора на рівні промислових зразків, а верхня обґрунтована розсіюванням дисипації потужності, що погіршує процес зменшення середнього розміру жирових кульок [7]. При проведенні експериментальних досліджень використовувались камери, діаметр яких в місці найбільшого звуження складав 0,4, 0,8, 1,2 мм.

Після отримання дослідних даних виконувалась їх перевірка на наявність грубих похибок дослідження. Обчислення середнього діаметру жирових кульок після гомогенізації виконувалось шляхом комп'ютерної обробки мікрофотографій зразків, що були зроблені для характерних полів зору через оптичний мікроскоп з приєднаною цифровою камерою.

Залежність між середнім діаметром жирових кульок після диспергування має параболічний характер, як зображено на графіку (рис. 3)

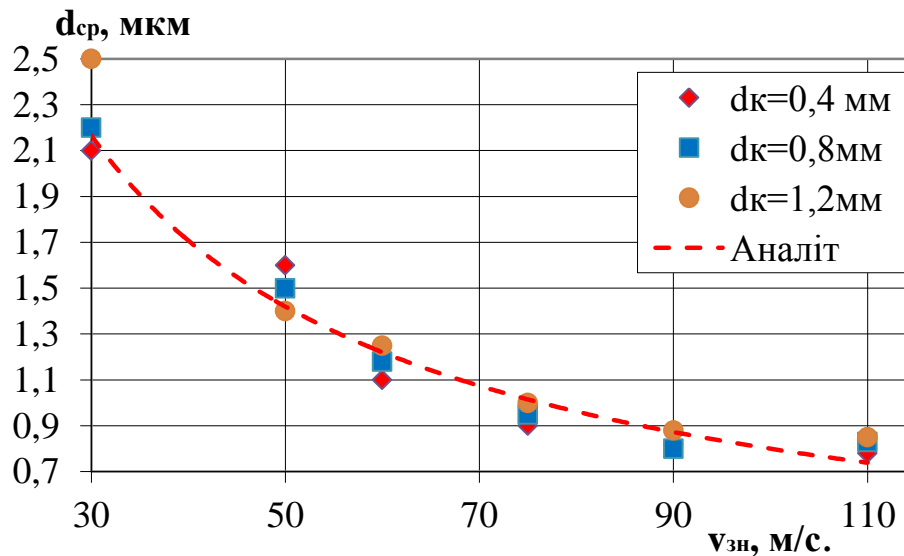


Рис. 3. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок  $d_{ср}$  від швидкості знежиреного молока  $v_{зн}$  і діаметра камери гомогенізації в місці найбільшого звуження  $d_k$  (при  $We_k = 28$ ,  $\sigma = 0,1$ ).

Аналіз залежності, зображеної на графіку (рис. 3) свідчить, що збільшення діаметра камери в місці найбільшого звуження в межах коливання при проведенні експерименту дає незначний вплив на зміну середнього розміру жирових кульок в усьому діапазоні швидкостей руху знежиреного молока (30–110 м/с). Найменший розмір жирових кульок, що знаходиться в межах технологічно обумовлених значень можливо досягти при швидкості подачі знежиреного молока, що знаходиться в діапазоні 60–100 м/с та більше. Слід зазначити, що при перевищенні швидкості подачі знежиреного молока більше 100 м/с, перебіг процесу диспергування відбувається аналогічно до клапанного типу конструкцій, внаслідок чого спостерігається кратне зростання енергетичних витрат на здійснення гомогенізації. Отже, робочий діапазон швидкостей руху знежиреного молока для забезпечення заданої дисперсності має коливатись в межах 60–100 м/с. Оскільки при зменшенні діаметру камери в місці найбільшого звуження до значень менше 0,4–0,8 мм згідно результатів аналітичних розрахунків спостерігається значне зростання енергетичних витрат, раціональний параметр діаметра камери в місці найбільшого звуження має знаходитись в межах указанного діапазону. Оптимальне значення цього параметру дозволить визначити оцінка енергетичних витрат при проведенні експериментальних досліджень та проведення оптимізації параметрів процесу.

Дослідження залежності середнього діаметра жирових кульок після диспергування від швидкості подачі вершків та жирності дисперсної фази являє собою залежність, наведену на рис. 4.

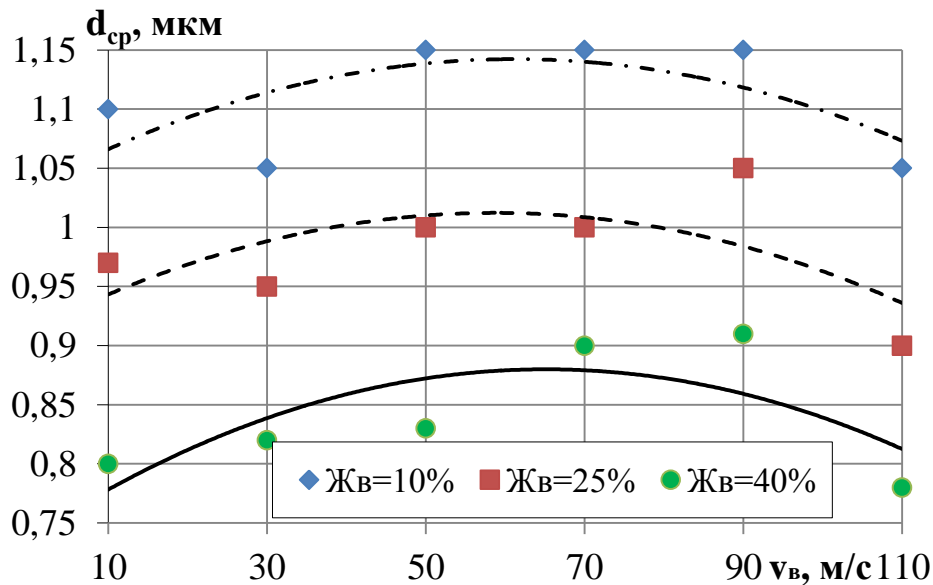


Рис. 4. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок  $d_{cp}$  від швидкості вершків  $v_v$  і жирності вершків  $Ж_v$ , що додаються при нормалізації молочної емульсії.

Аналіз отриманої залежності, зображеної на рис. 4 свідчить, що для зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених показників та нижче можна досягти шляхом підвищення жирності вершків, що додаються до знежиреного молока або підвищенням швидкості подачі вершків. Заданий середній розмір жирових кульок після диспергування досягається при швидкості подачі вершків  $v_v = 10\text{--}40$  м/с та при швидкості, що перевищує 100 м/с. Це пояснюється тим, що в діапазоні значень швидкості подачі вершків  $v_v = 50\text{--}100$  м/с забезпечується мінімальна різниця між швидкостями руху дисперсійної та дисперсної фазами продукту. З іншого боку високу дисперсність дозволяє отримати використання режиму, що передбачає подачу вершків зі швидкістю  $v_v \geq 100$  м/с, але при цьому гомогенізація буде проходити подібно до процесу в клапанних диспергаторах з відповідним зростанням енергетичних витрат процесу. Отже, раціональні значення швидкості подачі вершків знаходяться в діапазоні 10–40 м/с, при цьому для отримання молочних продуктів з високим ступенем дисперсності слід використовувати вершки жирністю 25–40%.

Результати експериментальних досліджень характеру залежності між середнім діаметром жирових кульок після диспергування, шириною кільцевої щілини та жирністю вершків, що використовуються в гомогенізаторі–нормалізаторі щільового типу, наведені на рис. 5.

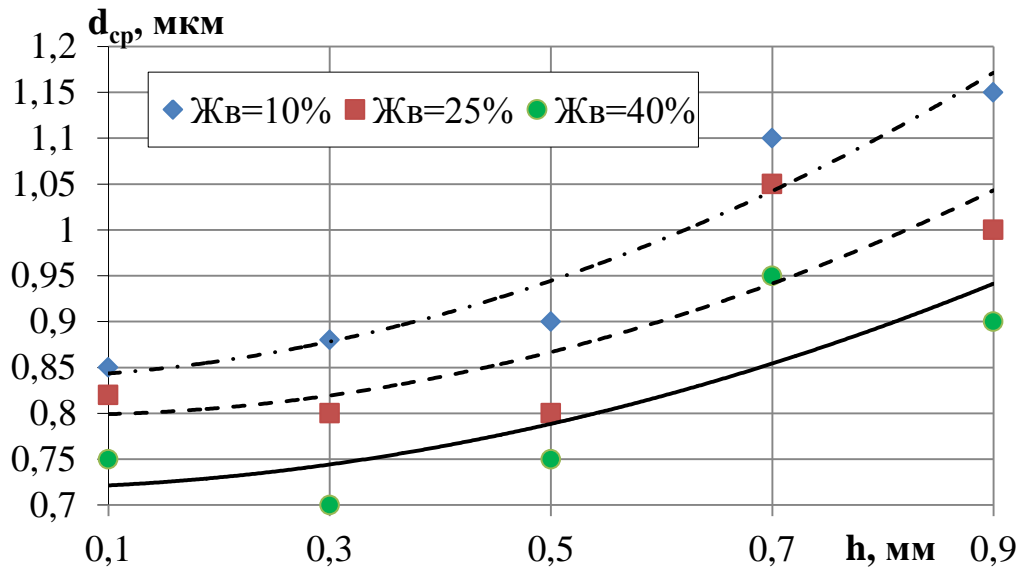


Рис. 5. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок  $d_{cp}$  від ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження  $h$  і жирності вершків  $J_v$ .

Аналіз отриманої залежності, зображеної на рис. 5 свідчить, що досягти зменшення середнього розміру жирових кульок можливо шляхом зменшення ширини кільцевої щілини  $h$  та підвищення жирності вершків. При зменшенні ширини щілини до розміру  $h=0,1-0,5$  мм можливо отримати продукт з середнім розміром жирових кульок, що складає  $0,7-0,95$  мкм, що знаходиться на рівні показників дисперсності клапанного гомогенізатора. Але, використання кільцевої щілини, ширина якої є меншою за  $h=0,4$  мм згідно результатів аналітичних досліджень призводить до 3–4 кратного зростання енергетичних витрат, порівняно з використанням гомогенізатору, ширина кільцевої щілини в якому коливається в межах  $h=0,5-0,9$  мм.

Експериментальні дослідження дозволили встановити зв'язок між середнім діаметром жирових кульок після гомогенізації, жирністю вершків та шириною камери в місці найбільшого звуження, що має близький до лінійного характер, зображений на рис. 6.

Аналіз експериментальної залежності, наведеної на рис. 6 свідчить, що для забезпечення середнього діаметра жирових кульок на рівні клапанних машин, ширина щілини в місці найбільшого звуження має знаходитись в діапазоні  $0,5$  мм та менше. Найгірші показники дисперсності забезпечуються при швидкості подачі вершків, яка складає  $v_g=60$  м/с, що пояснюється низькою різницею між швидкостями знежиреного молока та вершків, що є необхідною умовою подрібнення жирових кульок. Високі показники дисперсності, які забезпечуються при швидкості подачі вершків  $v_g=110$  м/с

пояснюються перебігом процесу подібно до диспергування в клапанних гомогенізаторах, та є економічно неефективним.

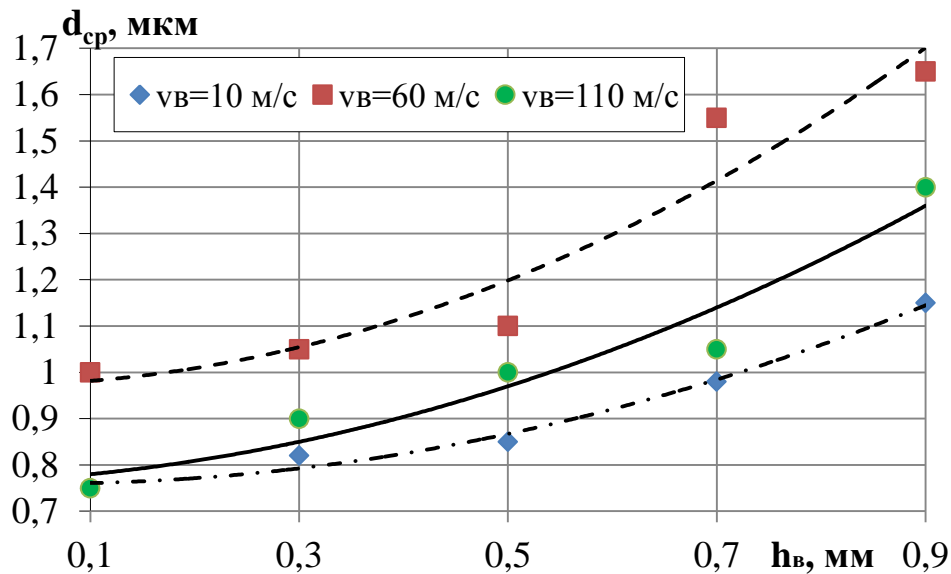


Рис. 6. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок після диспергування  $d_{ср}$  від ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження  $h$  і швидкості вершків  $v_v$ .

Отже, найкращі показники дисперсності можна забезпечити при швидкості подачі вершків, що дорівнює 10 м/с, що пояснюється високою швидкістю обтікання жирової кульки знежиреним молоком, при якій створюються необхідні гідродинамічні умови для ефективного зменшення розмірів часток дисперсної фази.

Результати експериментальних досліджень характеру залежності між жирністю вершків та шириною щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження  $h$  наведені на рис. 7.

Аналіз отриманої залежності (рис. 7) свідчить, що забезпечити середній розмір жирових кульок на рівні нормативних вимог можливо при використанні камери, що має якомога меншу ширину кільцевої щілини та використання вершків, жирність яких складає 30–40%. Середній діаметр жирових кульок при цьому незначною мірою залежить від ширини кільцевої щілини та при збільшенні її розміру з  $h=0,1$  мм до  $h=0,9$  мм при використанні вершків жирністю 30% показники дисперсності погіршуються лише на 10%.

Згідно отриманих даних після обробки та обчислення було знайдено потужності насосів, що забезпечують подачу дисперсійної, дисперсної фаз та сумарна потужність, що витрачається на роботу диспергатора, наведені на рис. 8.

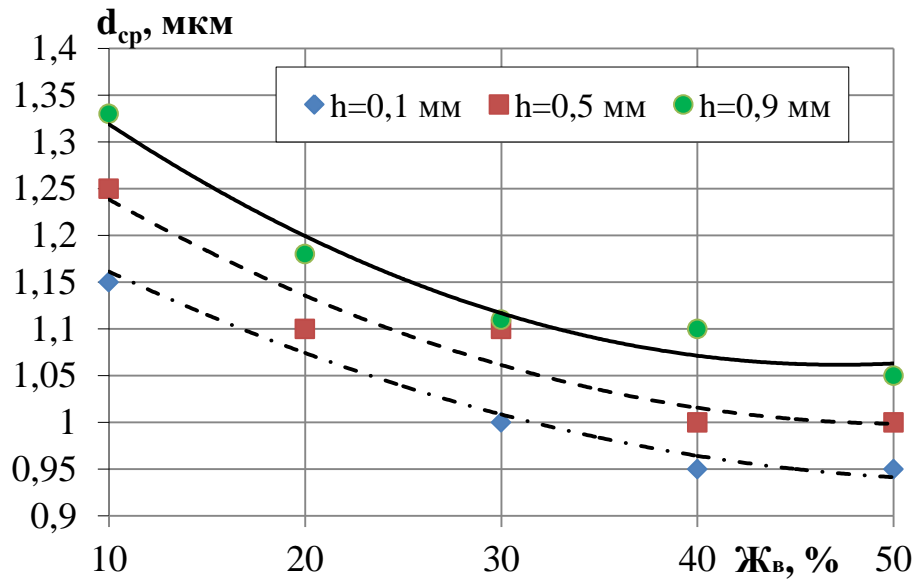


Рис. 7. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок  $d_{ср}$  від жирності вершків  $Ж_{в}$ , та ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження  $h$ .

Аналіз графіку, наведеного на рис. 8 свідчить про те, що характер даних, отриманих в ході експериментальних досліджень в цілому узгоджується з результатами аналітичних досліджень. При цьому експериментальні витрати перевищують показники, отримані в ході аналітичних досліджень на 7–12%, що пояснюється втратою потужності за рахунок ККД насосів та приводів.

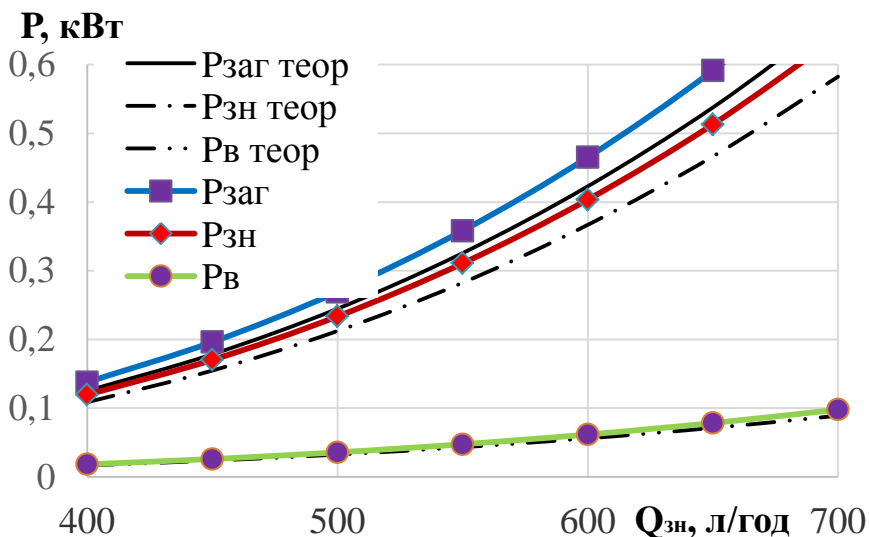


Рис. 8. Графік залежності потужності насосів для подачі знежиреного молока, вершків та сумарної потужності від продуктивності струминно-щілинного гомогенізатора молока.

*Висновки.* Згідно результатів проведених експериментальних досліджень виявлено, що для забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обґрунтованих значень (0,8–1,2 мкм) при проведенні диспергування діаметр камери в місці найбільшого звуження має незначний вплив на показники дисперсності. При цьому для забезпечення максимальної різниці між швидкостями знежиреного молока та вершків, швидкість подачі дисперсійної фази має коливатись в діапазоні 60–100 м/с, а швидкість подачі вершків має складати 10–40 м/с.

Згідно результатів експериментальних досліджень отримати жирові кульки розміром 0,8 мкм можливо при швидкості подачі знежиреного молока, що дорівнює 88–95 м/с, діаметрі камери в місці найбільшого звуження 0,8 мм, ширині кільцевої щілини в межах 0,1–0,5 мм, жирності вершків 30–40%, швидкості подачі вершків 15–23 м/с. Для визначення раціональних параметрів струминно-щільового гомогенізатора молока планується проведення дослідження зв'язку між основними параметрами диспергатора та енергетичними витратами процесу, після якого буде виконана оптимізація експериментальних параметрів гомогенізатора.

#### Література:

1. *Фиалкова Е. А.* Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
2. *Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О.* Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 1. С. 240-248.
3. *Самойчук К. О., Ковалев А. А., Бездичный А. А.* Моделирование процесса струйной гомогенизации молока с раздельной подачей сливок // *Вестник МГУП*. Могилев, 2015. Вип. 2 (19). С. 69-76.
4. *Walstra P., Wouters J. T. M., Geurts T. J.* Homogenization. In: *Dairy Science and Technology*. Second Edn. London, New York: Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton, 2006. P. 279.
5. *Самойчук К. О.* Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій : автореф. дис ... докт. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018. 44 с.
6. *Goulet A., Glasgow I., Aubry N.* Effects of microchannel geometry on pulsed flow mixing // *Mechanics Research Communications*. 2006. Vol. 33. P. 739-746.
7. *Матвиенко О. В., Ушаков В. М., Евтюшкин Е. В.* Математическое моделирование турбулентного переноса дисперсной фазы в турбулентном потоке // *Вестник ТГПУ*. Томск, 2004. Вып. 6. С. 50-53.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА С РАЗДЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ СЛИВОК ЩЕЛЕВОГО ТИПА

Самойчук К. О., Ковалев А. А., Паляничка Н. А.,  
Колодий А. С., Лебедь М. Р.

*Аннотация* – в статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса гомогенизации в струйном гомогенизаторе молока с раздельной подачей сливок щелевого типа. Определен и обоснован диапазон колебаний переменных факторов процесса. Установлена зависимость между средним диаметром жировых шариков после диспергирования, скоростью подачи обезжиренного молока и диаметром камеры гомогенизации в месте наибольшего сужения. Проведена обработка экспериментальных данных и построены графики, демонстрирующие зависимость среднего диаметра жировых шариков от скорости подачи сливок, жирности сливок и диаметра камеры гомогенизации в месте наибольшего сужения. Представлена и проанализирована зависимость среднего диаметра жировых шариков от жирности сливок и ширины кольцевой щели струйного гомогенизатора молока с раздельной подачей сливок. Представлен график, демонстрирующий зависимость мощности диспергатора от производительности экспериментального образца для экспериментальных и теоретических значений мощности привода насосов подачи обезжиренного молока и сливок, и общей мощности процесса.

## AN EXPERIMENTAL STUDY OF PARAMETERS IN THE SLOT TYPE JET-MIXING HOMOGENIZER OF MILK

K. Samoichuk, A. Kovalyov, N. Palyanichka, A. Kolodiy, M. Lebed

### *Summary*

Aiming to reduce the cost of a liter of milk in the process of its processing, experts come to the need to reduce energy costs for one of the most expensive processes of technology—homogenization. This conclusion is due to the fact that the energy costs for the most common in the dairy industry design of the valve milk homogenizer exceed 8 kW•h/t of the manufactured product. According to the results of long-term studies, a significant reduction in energy costs for dispersion can

be achieved using designs based on creating a maximum difference between the rates of dispersion and dispersed phases of the product.

For this purpose, on the basis of the Department of OPHV (TSATU) was developed the design of jet–slit homogenizer of milk, which provides the ability to supply the required amount of cream to skim milk, which flows through the chamber, reaches the place of greatest contraction, where normalization occurs. One of the tasks of experimental studies is to study the dependence of the average diameter of fat globules, which is the main indicator of quality on the parameters of the dispersion process.

The experimental studies have allowed to establish the dependence of the average diameter of fat globules on the speed of skim milk in the place of the greatest narrowing of the homogenization chamber and the chamber diameter in the place of the greatest narrowing. In addition, during the studies it was possible to establish the nature of the dependence of the average size of fat globules after dispersion on the fat content of cream, cream feed rate, the width of the annular slit in the place of the greatest narrowing of the chamber of the jet–slit milk homogenizer.

The experimental studies and subsequent processing of the data allowed to calculate the power costs used to drive the pumps of skim milk, cream and the total power of the dispersion process and to compare the obtained values with the dependencies obtained by the analytical way.

УДК 664.8.037.5

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-130-136

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Тарасенко В. Г., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена вдосконаленню пристроїв імпульсного заморожування харчових продуктів шляхом спрощення та зміни конструкції, зменшення втрат енергії, підвищення інтенсивності процесу заморожування, підвищення градієнту від'ємних температур. Розглянуто переваги перспективних способів заморожування, при яких істотно змінюються кінетика заморожування та теплофізичні характеристики харчових продуктів.

**Ключові слова** – швидке заморожування, вдосконалення, імпульсне заморожування, ефект Ранка-Хільша, вихровий ефект.

**Постановка проблеми.** Швидке заморожування використовується в якості методу якісного консервування харчових продуктів і забезпечує наступне тривале зберігання при низьких температурах. Сучасний рівень розвитку харчової промисловості потребує дослідження нових напрямків розробки конструкцій обладнання для швидкого заморожування. Перспективними способами заморожування являються імпульсне заморожування та заморожування з використанням ефекту Ранка-Хільша [1-3].

**Аналіз останніх досліджень.** Для швидкого заморожування використовуються різні типи обладнання. Наприклад, криогенератор, що містить циліндр, теплообмінник корисного навантаження, холодильник, витискувач, імпульсний випускний клапан [4]. Недоліками його являються: складна конструкція, великі втрати енергії через відсутність теплоізоляції та низька інтенсивність процесу заморожування в наслідок розімкненого циклу.

Також відомий пристрій для попереднього підморожування харчових продуктів, прийнятий за прототип, що містить теплоізольовану камеру охолодження, транспортер з гідрофобним покриттям, трубопровід для подачі переохолодженого повітря, теплообмінник-охолоджувач, випарник холодильника, ресивер, терморегулюючий вентиль, вологовідокремлювач, компресор [5]. Недоліком цього пристрою є те, що морозильні властивості

холодоагенту використовуються не повністю та низька інтенсивність процесу заморожування.

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є вдосконалення конструкцій обладнання для швидкого заморожування харчових продуктів. Конструкцію кріогенератору пропонується вдосконалити шляхом спрощення конструкції, зменшення втрати енергії та підвищення інтенсивності процесу заморожування.

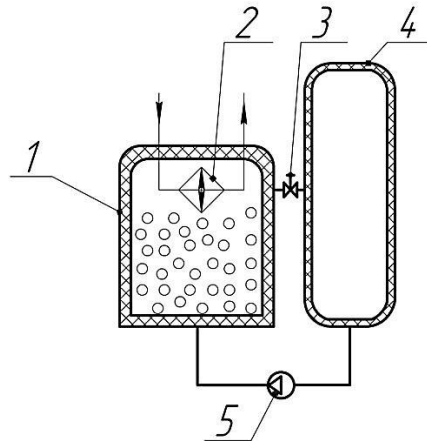
Пристрій для швидкого заморожування харчових продуктів пропонується вдосконалити шляхом зміни конструкції, підвищення градієнту від'ємних температур за рахунок застосування додаткового другого каскаду холодильного циклу повітряної холодильної машини, а саме під'єднання групи вихрових форсунок з ефектом Ранка-Хільша, що забезпечує запобігання змерзанню харчових продуктів під час обробки, збереження окремих та неушкоджених фрагментів харчових продуктів, зменшення витікання клітинного соку, та ушкодження під час фазового переходу, більш повне використання морозильних властивостей холодоагенту та підвищення інтенсивності процесу заморожування.

*Основна частина.* Імпульсне заморожування харчових продуктів дозволяє заморожувати продукти у декілька разів швидше, ніж звичайним способом. Це сприяє істотній зміні теплофізичних характеристик об'єкта, кінетики процесу заморожування [3].

Поставлена задача вдосконалення конструкції вирішується тим, що у пристрої для імпульсного заморожування харчових продуктів, який містить холодильник, витискувач, імпульсний випускний клапан, встановлено теплоізольовану камеру заморожування, вакуумний насос, встановлено теплоізольований вакуумний ресивер.

Застосування запропонованого пристрою для імпульсного заморожування харчових продуктів дозволяє спростити конструкцію, завдяки об'єднанню циліндра з теплообмінником корисного навантаження в один елемент: теплоізольовану камеру заморожування та використання якості витискувача вакуумного насоса, зменшити втрати енергії за рахунок теплоізоляції камери заморожування та вакуумного ресивера, підвищити інтенсивність процесу заморожування за рахунок встановлення вакуумного ресивера, який замикає цикл заморожування, на відміну від прототипу, в якому цикл розімкнений і кожен раз витрачається час на охолодження нової порції теплоносія.

Схема пристрою для імпульсного заморожування харчових продуктів показана на рис. 1.



1 – теплоізольована камера заморожування, 2 – холодильник, 3 – імпульсний випускний клапан, 4 – теплоізольований вакуумний ресивер, 5 – вакуумний насос.

Рис. 1. Схема пристрою для імпульсного заморожування харчових продуктів.

Пристрій для імпульсного заморожування харчових продуктів використовують наступним чином. В теплоізольовану камеру заморожування (1), завантажуються харчові продукти які підлягають заморожуванню. З холодильника (2) на матеріал поступає переохолоджений холодоагент, в якості якого використовують повітря, яке знижує температуру матеріалу до температури замерзання. Далі матеріал витримують для вирівнювання температури по всьому об'єму. Після цього з теплоізольованої камери заморожування (1) виконують імпульсне, поступове скидання холодоагенту за допомогою імпульсного випускного клапана (3) в теплоізольований вакуумний ресивер (4), що призводить до різкого падіння тиску і викликає миттєве замерзання води всередині часток матеріалу. При цьому збільшується швидкість заморожування, пригнічується кристалізація, кристали льоду не встигають вирости, залишаючись дрібними, залишається непошкодженою молекулярна структура заморожуваних харчових продуктів, зменшується витікання клітинного соку та ушкодження під час фазового переходу, підвищується інтенсивність процесу заморожування. Заморожені харчові продукти вивантажуються з камери (1). Відпрацьований холодоагент надходить до теплоізольованого вакуумного ресивера (4), звідки всмоктується вакуумним насосом (5). Холодоагент після вакуумного насоса, охолоджується в охолоджувачі (не показано) та подається в теплоізольовану камеру заморожування (1) вже завантажену новою порцією харчових продуктів, які підлягають заморожуванню. Далі цикл повторюється. В результаті вдосконалення спрощується конструкція, зменшуються втрати енергії та підвищується інтенсивність процесу заморожування.

Розглянемо конструкцію пристрою для попереднього підморожування харчових продуктів [6].

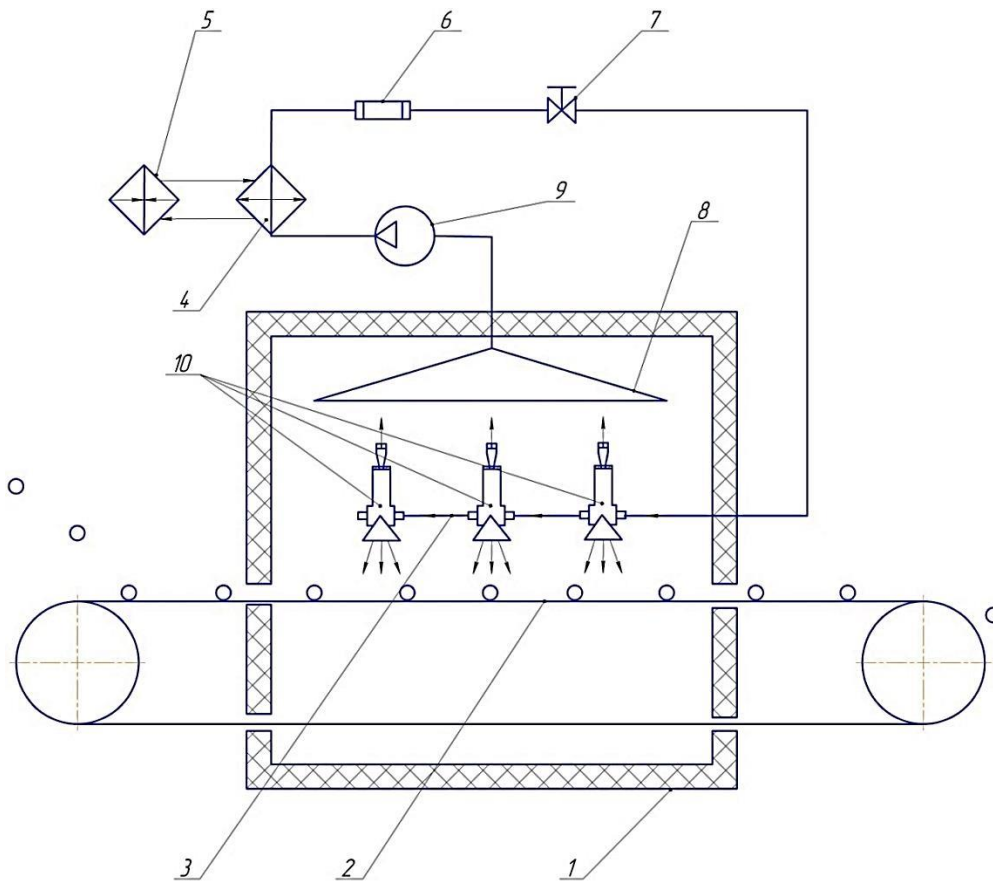
Поставлена задача вдосконалення конструкції цього пристрою вирішується тим, що у пристрої для швидкого заморожування харчових продуктів, що містить теплоізольовану камеру охолодження з транспортером з гідрофобним покриттям, над яким розташований трубопровід для подачі переохолодженого повітря та вологовідокремлювач, зовні встановлено компресор для подачі стисненого повітря в теплообмінник-охолоджувач, який знаходиться в тепловому контакті з випарником холодильника, повітря після охолодження подається в ресивер та через терморегулюючий вентиль надходить в теплоізольовану камеру, згідно пропонованого винаходу, до трубопроводу для подачі переохолодженого повітря під'єднана група вихрових форсунок з ефектом Ранка-Хільша, холодний розтруб яких направлений на охолоджуваний матеріал.

Застосування пристрою для швидкого заморожування харчових продуктів запропонованої конструкції дозволяє зменшити явище змерзання харчових продуктів під час обробки, зберегти окремі та неушкоджені фрагменти харчових продуктів, зменшити витікання клітинного соку та ушкодження під час фазового переходу, завдяки підвищенню градієнта від'ємних температур при застосуванні додаткового другого каскаду холодильного циклу повітряної холодильної машини, а також дозволяє більш повно використовувати морозильні властивості холодоагенту та підвищити інтенсивність процесу заморожування.

Технічна суть пояснюється рис. 2, на якому зображена схема пристрою для швидкого заморожування харчових продуктів.

Пристрій для швидкого заморожування харчових продуктів містить теплоізольовану камеру (1) охолодження, транспортер (2) з гідрофобним покриттям, трубопровід (3) для подачі переохолодженого повітря, теплообмінник-охолоджувач (4), випарник (5) холодильника, ресивер (6), терморегулюючий вентиль (7), вологовідокремлювач (8), компресор (9), до трубопроводу (3) для подачі переохолодженого повітря під'єднана група вихрових форсунок (10) з ефектом Ранка-Хільша, холодний розтруб яких направлений на охолоджуваний матеріал.

Пристрій для швидкого заморожування харчових продуктів використовують наступним чином. В теплоізольовану камеру (1) охолодження, по транспортеру (2) з гідрофобним покриттям тонким шаром подаються харчові продукти. Гідрофобне покриття стрічки транспортера перешкоджає прилипанню харчових продуктів, які заморожують. Швидкість руху стрічки транспортеру (2) регламентує час експозиції матеріалу в теплоізольованій камері (1) охолодження.



1 – теплоізольована камера, 2 – транспортер з гідрофобним покриттям, 3 – трубопровід для подачі переохолодженого повітря, 4 – теплообмінник-охолоджувач, 5 – випарник холодильника, 6 – ресивер, 7 – терморегулюючий вентиль, 8 – вологовідокремлювач, 9 – компресор, 10 – група вихрових форсунок з ефектом ранка-Хільша.

Рис. 2. Схема пристрою для швидкого заморожування харчових продуктів.

Через трубопровід (3) для подачі переохолодженого повітря та групу вихрових форсунок (10) з ефектом Ранка-Хільша на матеріал подається переохолоджене повітря, яке виконує роль холодоагенту. Використаний холодоагент надходить до приймального патрубку ( $t_{\text{роб}} = -10^{\circ}\text{C}$ ) вологовідокремлювача (8), звідки всмоктується компресором (9), який стискає сухе холодне повітря. Холодоагент, при адіабатному стисненні, нагрівається ( $t_{\text{нагр}} = 40^{\circ}\text{C}$ ) і далі охолоджується в теплообміннику - охолоджувачі (4), за рахунок теплообміну з випарником холодильника (5) до  $-18^{\circ}\text{C}$ . Запас переохолодженого стисненого повітря накопичується в ресивері (6), який знаходиться у теплоізолювальній оболонці. Переохолоджене стиснене повітря проходить крізь фільтр-вологовідокремлювач (не показано) до терморегулюючого вентиля (7), після якого

відбувається різке розширення холодного стисненого повітря і різке до охолодження робочого холодоагенту, який через трубопровід (3) та групу вихрових форсунок (10) з ефектом Ранка-Хільша, дозволяє значно інтенсивніше охолоджувати харчові продукти ( $t = -60$  °С). При цьому холодоагент завдяки форсункам Ранка-Хільша розподіляється на два потоки –  $60$  °С, спрямованого на матеріал, та прохолодне повітря –  $8$  °С, яке надходить до приймального патрубку вологовідокремлювача (8), звідки всмоктується компресором (9). Далі цикл повторюється. В результаті вдосконалення цього пристрою зменшується явище змерзання харчових продуктів під час обробки, зберігаються окремі та неушкоджені фрагменти харчових продуктів, зменшується витікання клітинного соку та ушкодження під час фазового переходу, більш повно використовуються морозильні властивості холодоагенту.

*Висновки.* Внаслідок проведеного вдосконалення описаних вище пристроїв спрощується конструкція, зменшуються втрати енергії та підвищується інтенсивність процесу заморожування. Зменшується змерзання харчових продуктів під час обробки, зберігаються окремі та неушкоджені фрагменти харчових продуктів, зменшується витікання клітинного соку та ушкодження під час фазового переходу, більш повно використовуються морозильні властивості холодоагенту, підвищується інтенсивність процесу заморожування.

#### Література:

1. *Мещеряков Ф. Е.* Основы холодильной техники и холодильной технологии. Москва: Пищевая промышленность, 1975. 560 с.
2. *Орешина М. Н.* Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратурная реализация : автореф. дисс. докт. техн. наук: 05.18.12. Москва, 2010. 50 с.
3. *Тарасенко В. Г.* Перспективний спосіб заморожування харчових продуктів // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. ( м. Харків, 19 листопада 2018 р.). Харків, 2018. Ч. 1. С. 365-367.
4. А. с. 1224514 СССР, МКИ F 25 В 9/00. Криогенератор. № 3800466/23-06 ; заявл. 12.10.84 ; опубл. 15.04.86, Бюл. № 14.
5. Пристрій для попереднього підморожування харчових продуктів: пат. 100658 Україна: МПК F 25 D 3/11. № а 201411867 ; заявл. 03.11.2014 ; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15
6. *Тарасенко В. Г., Петров В. А., Бойко В. С.* Обоснование конструктивной схемы оборудования для процесса подмораживания пищевых продуктов // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: матеріали міжнар.



наук.-практ. конф. ( м. Мелітополь, 5-7 вересня 2017 р.). Мелітополь, 2017. С. 98-99.

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Тарасенко В. Г.

*Аннотация* – статья посвящена усовершенствованию устройств импульсного замораживания пищевых продуктов путем упрощения и изменения конструкции, уменьшения потерь энергии, повышения интенсивности процесса замораживания, повышения градиента отрицательных температур. Рассмотрены преимущества перспективных способов замораживания, при которых существенно изменяются кинетика замораживания и теплофизические характеристики пищевых продуктов

## **IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR FOOD PRODUCTS FREEZING**

V. Tarasenko

### *Summary*

**Device for impulse freezing of food products. Field of application: refrigeration equipment, namely, the design of devices used in the freezing of food products. As a result of the improvement, the design is simplified, energy losses are reduced and the intensity of the freezing process increases.**

**The device for rapid freezing of food products containing a heat-insulated chilling chamber with a hydrophobic coating conveyor over which a superheated air supply pipe and a moisture separator are located is located outside the compressor to provide a refrigerant heat exchanger which is in thermal contact with the evaporator of the refrigerator. Device for fast freezing of food products. Field of application: meat, dairy, fish, fruit and vegetable and other branches of the food industry, where the use of freezing. In the device for quick freezing of food products containing a heat-insulated chilling chamber, a hydrophobic conveyor, a conduit for supplying supercooled air, a heat exchanger-cooler, a refrigerant evaporator, a receiver, a thermostatic valve, a water separator, a compressor, to a conduit for supplying supercooled air coupled a group of vortex nozzles with the Ranque-Hilsch effect.**

**Technical result: the freezing of food is reduced during processing, stored separately and intact frumenty food, reduced leakage and damage cell juice during the phase transition, better freezing properties used refrigerant, increases the intensity of the process of freezing.**

*ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ*

УДК 631.563.8: 678.048

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-137-145

**ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДОВИХ ОВОЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ЕКЗОГЕННИХ АНТИОКСИДАНТІВ**

Прісс О. П., д. т. н.,

Сердюк М. Є., д. т. н.,

Сухаренко О. І., к. с-г. н.,

Коляденко В. В., інженер

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 44-81-02

**Анотація** – у роботі розглянуто особливості реалізації технології зберігання плодів овочів з використанням екзогенних антиоксидантів. Розроблено функціонально-технологічну схему зберігання плодів овочів з тепловою обробкою композиціями антиоксидантів. У разі чіткого дотримання усіх особливостей технології зберігання плодів овочів з тепловою обробкою композиціями антиоксидантів можна подовжити термін зберігання і зберегти високу якість продукції.

**Ключові слова** – зберігання, плодів овочів, екзогенні антиоксиданти, технологічна схема

*Постановка проблеми.* Свіжа плодоовочева продукція є необхідним компонентом здорового харчування. Фрукти і, особливо, овочі, є хорошим джерелом простих і складних вуглеводів, цілого ряду мінеральних сполук, вітамінів та інших біологічно активних речовин, які є ефективними поглиначами радикалів і окислювачів. Науково доведено, що дієти на рослинній основі захищають від кардіоваскулярних, нейродегенеративних, ракових захворювань [1, 2].

Тканини свіжих овочів характеризуються високою кількістю вологи (80...96%), активним метаболізмом, низькою стійкістю до механічних пошкоджень. Тому вони швидко псуються, а для підтримання якості та зменшення втрат і відходів вимагають скоординованих дій на всіх ланках ланцюга від виробництва до реалізації. Однак, через недосконалі технології збирання, післязбиральної обробки та зберігання, втрачається значна частина продукції. За даними FAO, 44% від усіх втрат продовольчих ресурсів становлять втрати плодоовочевої продукції [3]. Аналіз структури втрат у країнах з низьким рівнем післязбиральних технологій і

зберігання показав, що основні втрати плодів та овочів пов'язані з відсутністю холодильного ланцюга, недостатністю потужностей для зберігання та інвестицій в сучасні технології зберігання [4]. Стратегія підвищення продовольчої безпеки передбачає зменшення втрат і відходів плодів та овочів шляхом удосконалення післязбиральних технологій обробки і зберігання [4].

*Аналіз останніх досліджень.* В останні два десятиліття підвищена увага вчених приділяється розробці технологій використання біологічно активних речовин для стабілізації комплексу фітонутрієнтів, які обумовлюють цінність свіжих овочів та терміни їх зберігання. Обробка плодоовочевої продукції біологічно активними речовинами дозволяє зменшити природні втрати маси, знизити швидкість розвитку мікроорганізмів та уповільнити фізіологічні процеси дозрівання і старіння [5]. Саме з метою гальмування процесів метаболізму в їстівних покриттях для плодів, ягід та овочів застосовують антиоксиданти. Синтетичні антиоксиданти застосовуються в харчовій промисловості з 1940 року [6]. Сьогодні використання синтетичних хімічних речовин стає менш прийнятним для споживача. У відповідь на стурбованість споживачів, зусилля дослідників сфокусовані на природних антиоксидантних речовинах. Антиоксиданти природного походження стали альтернативою синтетичним, оскільки повністю виводяться з організму та є екологічно безпечними.

Лецитин є найбільш поширеним природним антиоксидантом та емульгатором, що використовується в харчовій промисловості. Це харчова добавка (E 322), яка відноситься до групи GRAS (Generally Recognized as Safe), тобто визнані безпечними і тими, що практично не мають обмежень по застосуванню в харчових продуктах в Європейському Союзі та США. Лецитин знижує рівень холестерину, підвищує опір організму дії токсичних речовин, стимулює утворення еритроцитів і гемоглобіну, має антиоксидантні властивості [7]. Біоантиоксидант лецитин широко застосовується у складі комплексних композицій для обробки плодів перед зберіганням. Для оптимізації складу, розширення сфери застосування розроблено та запатентовано ряд композицій з лецитином [8-10]. Дослідники рекомендують до комплексних препаратів на основі лецитину вводити бактерицидний або фунгіцидний компонент. З цією метою широко вивчаються рослинні екстракти [11-13]. Ефективність рослинних екстрактів для зберігання плодоовочевої продукції досліджували у роботі [14]. Як показує аналіз результатів досліджень, викладених у роботах [15, 16], комбінована дія теплових обробок у поєднанні з екзогенними композиціями антиоксидантів дозволяє суттєво подовжити термін зберігання гарбузових і пасльонових плодів овочів, скоротити природні втрати маси, збільшити вихід стандартної

продукції після подовженого зберігання. Однак технологічні аспекти застосування комплексних композицій біологічно активних речовин у поєднанні з тепловою обробкою при зберіганні плодоовочевої продукції розглянуті недостатньо. Ці міркування і є підставою для вивчення особливостей технології зберігання плодів овочів з післязбиральною тепловою обробкою композиціями антиоксидантів.

*Метою роботи* стало розроблення практичних рекомендацій по застосуванню технології зберігання плодів овочів з післязбиральною тепловою обробкою композиціями антиоксидантів.

*Практичні рекомендації по зберіганню плодів овочів.* В основу розробки технології зберігання плодів овочів з післязбиральною тепловою обробкою композиціями антиоксидантів покладені результати досліджень [17].

Рішення про закладання на зберігання приймають звертаючи увагу на сприятливість умов формування високого антиоксидантного статусу (АОС) плодів овочів. Для огірків основними компонентами, що визначають АОС є активність каталази та пероксидази. Максимальна активність цих ферментів в огірках, а відповідно й найвищий АОС, формуються при вирощуванні з невеликими сумами активних температур (800...1050 °С) і мінімальними опадами в період вегетації. При вирощуванні огірків за таких умов, направлення на зберігання є виправданим.

Для кабачків визначальними АОС компонентами є цукри та пероксидаза. Максимальний вміст цукрів кабачки формують при високих сумах активних температур за 10 днів до збору (< 200 °С) та мінімальній кількості опадів, а пероксидаза кабачків найбільшу активність виявляє у роки з мінімальною кількістю опадів. Тож рішення про закладання на зберігання може прийматись при дотриманні цих умов у вегетаційний період.

АОС томатів визначають насамперед каротиноїди. Вагомий внесок також дають супероксиддисмутаза, фенольні речовини та цукри. Формування максимального фонду каротиноїдів, фенольних речовин та цукрів відбувається при вирощуванні томатів, коли суми активних температур за 40 діб до збору високі. Проте, надмірні температури періоду формування і дозрівання плодів (< 880 °С) негативно позначаються на активності супероксиддисмутази та знижують придатність томатів до тривалого зберігання.

Високий АОС перцю забезпечується наявністю аскорбінової кислоти, фенольних речовин та активністю супероксиддисмутази. Найбільший пул визначальних компонентів антиоксидантної системи перець формує, коли гідротермічний коефіцієнт вегетаційного періоду знаходиться в межах 0,4...0,9. Тож перець, вирощений за таких умов, матиме потенціал для доброї збереженості.

Післязбиральні технологічні операції по підготовці плодів до зберігання виконують дотримуючись вимог чинних нормативно технічних документів для кожного виду продукції (ДСТУ 3247-95, ДСТУ 318-91, ДСТУ ЕЭК ООН FFV-41, ДСТУ 2659-94, ДСТУ ЕЭК ООН FFV-28, ДСТУ 3246-95).

Для подальшого зберігання усі види плодів необхідно збирати вручну вранці (після висихання роси) в суху, ясну погоду (для уникнення вологи на поверхні плодів). Для зберігання відбирати плоди огірків без вирваної плодоніжки, неушкоджені, довжиною 11 - 14 см. Зеленці кабачків збирають довжиною 16 - 21 см з плодоніжкою 3 см. Томати червоного ступеня стиглості відбирати з плодоніжкою. Плоди перцю мають бути однорідні за розміром, без вирваних плодоніжок, забарвлені в основний колір на 80...90 %.

Тара для збирання плодів повинна відповідати біологічним властивостям продукції, створювати захист від механічних ушкоджень. Краще використовувати пластикові ящики які можна мити і дезінфікувати. Транспортне маркування здійснюють згідно з ГОСТ 14192 відбитком трафарету чи штампом тривкою фарбою, що не змивається та не має запаху, або наклеюванням етикетки з указуванням: назви продукції, належності до ботанічного сорту; назви та адреси виробника (постачальника); дати збирання, пакування, відвантаження; номери партії; маси нетто (кількості пакувальних одиниць продукції).

Транспортувати плоди можна автомобільним чи іншим видом транспорту до місця зберігання на відстань не більше 50 км, відповідно до правил перевезення швидкопсувних вантажів та при дотриманні санітарних норм та правил щодо транспортування харчової продукції. Під час транспортування продукція не повинна піддаватись впливу сонячного проміння чи опадів.

Технологічні операції закладання на зберігання виконують за схемою (рис. 1).

При прийманні сировини, яку передбачається закладати на зберігання дотримуються стандартної процедури приймання-здавання. Перевіряють правильність оформлення супровідних документів та відповідність ботанічного сорту і товарності продукції. Виробник овочевої продукції повинен надати сертифікати відповідності, що засвідчують безпечність продукції за вмістом шкідливих речовин. Вміст токсичних елементів, залишкових кількостей пестицидів, мікотоксинів і радіонуклідів повинен знаходитись у межах встановлених медико-біологічними вимогами. Перед закладанням на зберігання необхідно провести інспекцію, сортування, калібрування та відбракувати нестандартні екземпляри.

Заздалегідь готують розчини антиоксидантних композицій. Композиції для обробки гарбузових плодів мають містити хлорофіліп

у концентрації 0,38...0,75%, іонол у концентрації 0,036...0,048% та лецитин у концентрації 4%.

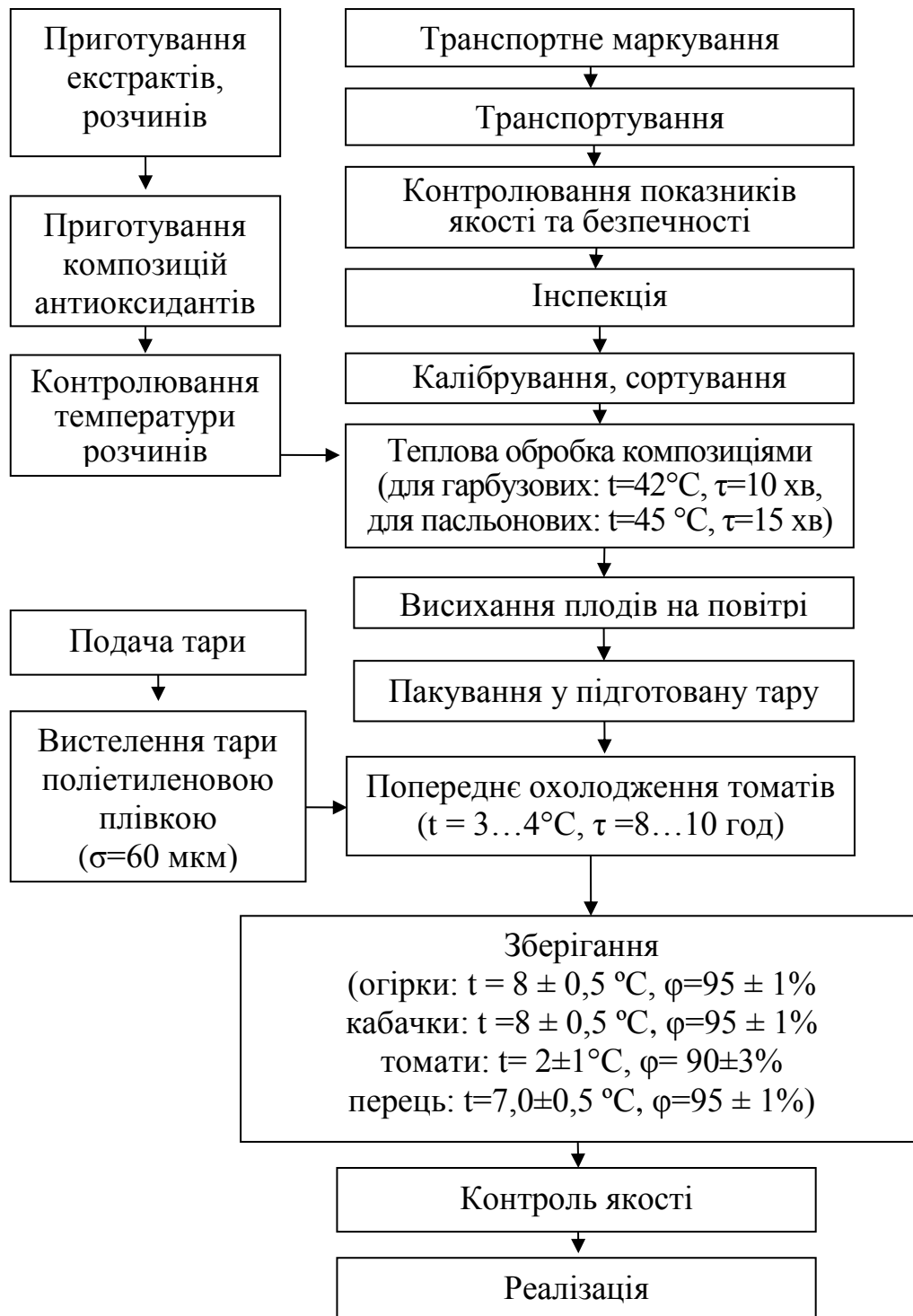


Рис. 1. Функціонально-технологічна схема зберігання плодових овочів з тепловою обробкою композиціями.

Для створення стійкої до розшарування стабільної емульсії необхідно змішувати іонол з хлорофіліптом (Хл), потім вводити

лецитин (Л) і наостанок воду. Максимальний ефект досягається при використанні трьохкомпонентної композиції антиоксидантів, що крім Хл та Л містить синтетичний антиоксидант іонол (І). Проте, у разі коли передбачається реалізація продукції через 2-3 тижні після закладання на зберігання, високу ефективність дає біогенна композиція Хл+Л, що гарантує екологічну безпечність. У такому ж випадку можна використовувати двокомпонентну композицію Хл+І, що дасть можливість скоротити затрати на препарат.

Для композицій, що застосовуються для пасльонових овочів, попередньо готують водний екстракт кореня хрону (Хр). Для виготовлення водного екстракту корінь хрону збирають відповідно до вимог ДСТУ 294-91, миють, очищають. Технологія приготування екстракту полягає у тому, що корені хрону подрібнюють на роторному млині до дисперсності  $0,75 \pm 0,25$  мм, заливають дистильованою водою у пропорції 1:2 і настоюють протягом 8 год. за температури  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Після екстракції суміш фільтрують і визначають кількість фенольних речовин, що повинна бути на рівні  $214,9 \pm 5\%$  мг/100 г. При перевищенні вказаних значень, екстракт розбавляють водою. При меншому вмісті фенольних речовин, екстракт розводять клітинним соком кореня хрону. Кількість сухих розчинних речовин у приготованому екстракті  $0,16 \pm 0,02\%$ . Для приготування біогенної композиції Хр+Л, у приготований екстракт вносять 4% лецитину. Максимальну ефективність виявляє трикомпонентна композиція антиоксидантів Хр+І+Л. Для отримання композиції Хр+І+Л у приготований водний екстракт кореня хрону вносять суміш іонолу з лецитином. Концентрація іонолу має становити  $0,024 \dots 0,030\%$ , лецитину 4%. З метою здешевлення, уніфікації і стабілізації складу препарату можна застосовувати антиоксидантну композицію І+Л, що готується змішуванням іонолу та лецитину в необхідних концентраціях.

Плоди гарбузових овочів занурюють в заздалегідь підготовані розчини антиоксидантних композицій з температурою  $42^\circ\text{C}$  на 10 хв. Після висихання плоди вкладають в ящики, вистелені поліетиленовою плівкою (товщина 60 мкм), вкривають тією ж плівкою і зберігають при  $8 \pm 0,5^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $95 \pm 1\%$ .

Плоди томатів і перцю занурюють в розчини антиоксидантних композицій з температурою  $45^\circ\text{C}$  на 15 хв. Після висихання плоди вкладають в ящики, вистелені поліетиленовою плівкою. Томати витримують в камері попереднього охолодження впродовж 8-10 год. за температури  $3-4^\circ\text{C}$ . Температура зберігання томатів  $2 \pm 1^\circ\text{C}$ , відносна вологість повітря  $90 \pm 3\%$ . Перець зберігають при  $7,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $95 \pm 1\%$ .

*Висновки.* Розроблено функціонально-технологічну схему зберігання плодів овочів з тепловою обробкою композиціями антиоксидантів.

У разі чіткого дотримання усіх особливостей технології зберігання плодів овочів з тепловою обробкою композиціями антиоксидантів можна подовжити термін зберігання і зберегти високу якість продукції.

Література:

1. *Jadhav S. S.* Daily consumption of antioxidants: - prevention of disease is better than cure // *Asian J. Pharm. Res.* 2013. Vol. 3 (1). P. 34-40.
2. Antiproliferative and antioxidant activities of common vegetables: A comparative study / *D. Boivin, S. Lamy, S. Lord-Dufour [et al.]* // *Food Chemistry.* 2009. Vol. 112(2). P. 374–380.
3. Reducing Food Loss and Waste. Creating a Sustainable Food Future, Installment 2 / *B. Lipinski et al.* Washington, DC, USA, 2013.
4. *Godfray H. C. J., Beddington J. R., Crute I. R. [et al.]* Food security: the challenge of feeding 9 billion people // *Science.* 2010. Vol. 327. № 5967. P. 812–818.
5. *Dhall R. K.* Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review // *Critical reviews in food science and nutrition.* 2013. Vol. 53(5). P. 435-450.
6. *Rasooli I.* Food preservation – a biopreservative approach // *Global Science Books. Food.* 2007. Vol. 1(2). P. 111-136.
7. Кинетические закономерности окисления лецитина и его стабилизация / *Р. Л. Варданян и др.* // *Химия растительного сырья.* 2009. № 1. С. 125-130.
8. Patent US 20060228458 A1, A23J7/00, A01N31/16, A01N25/32, A23B7/154, A23L3/3481, A23B7/16, A01N25/30, A23D9/00, A23L3/3472. Method for processing fruits and vegetables on the base of lecithin / *Sardo A.*; inventor & patent holder Alberto Sardo. – № 10/552,460; Filed 24.03.04; Pub. Date 12.10.06.
9. Patent US 20100081636 A1, A01N65/00, A01N57/12, A01P5/00. Method for the nematocidal treatment of plants using eugenol and/or lecithin(s) and/or derivatives thereof / *Sardo A.*; inventor & patent holder Alberto Sardo. – № 12/450,511; Filed 14.02.08; Pub. Date 01.04.10.
10. *Rodríguez M., Osés J., Ziani K., Maté J.I.* Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films // *Food Research International.* 2006. № 8 (39). P. 840-846.
11. *Shukla A. C.* Plant secondary metabolites as source of postharvest disease management: An overview // *J. Stored Prod. Postharvest Res.*, 2013. Vol. 4, № 1. P.1–10.
12. *Cirimbei M. R., Dinică R., Gitin L., Vizireanu C.* Study on herbal actions of horseradish (*Armoracia rusticana*) // *Journal of*



agroalimentary processes and technologies. 2013. Vol. 19 (1). P. 111-115.

13. Изопреноидный состав спиртового экстракта листьев *Eucalyptus viminalis* / О. Н. Кошевой и др. // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. 2011. Вип. 24, № 2. С. 23-25.

14. Присс О. П., Жукова В. Ф. Збереженість томатів і перцю за обробки екстрактами кореня хрону // Харчова наука і технологія. 2015. Вип. 2(31). С. 68–74.

15. The influence of antioxidant heat treatment on utilization of active oxygen forms during storage of cucumbers / O. Priss, O. Danchenko, V. Yevlash, V. Zhukova, V. Verkholtantseva, D. Stepanenko // Technology audit and production reserves. 2017. Vol. 4(3). P. 35-41.

16. Присс О. П. Скорочення пошкодження холодом під час зберігання томатів з тепловою обробкою антиоксидантами // Восточно-Европейский журнал передових технологій. 2015. № 1/6. С. 38-43.

17. Присс О. П. Наукові основи зберігання плодів овочів з використанням обробки біологічно активними речовинами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.13. Київ, 2017. 45 с.

## **ХРАНЕНИЕ ПЛОДОВЫХ ОВОЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКЗОГЕННЫХ АНТИОКСИДАНТОВ**

Присс О. П., Сердюк М. Е., Сухаренко Е. И., Коляденко В. В.

**Аннотация** – в работе рассмотрены особенности реализации технологии хранения плодовых овощей с использованием экзогенных антиоксидантов. Разработана функционально-технологическая схема хранения плодовых овощей с тепловой обработкой композициями антиоксидантов. В случае четкого соблюдения всех особенностей технологии хранения плодовых овощей с тепловой обработкой композициями антиоксидантов можно продлить срок хранения и сохранить высокое качество продукции.

## **STORAGE OF FRUITING VEGETABLES USING EXOGENOUS ANTIOXIDANTS**

O. Priss, M. Serdyuk, O. Sukharenko, V. Kolyadenko

### *Summary*

**In this study particularities of implementation of fruiting vegetables storage technology using exogenous antioxidants**

are discussed. It is known that heat treatment combined with exogenous antioxidant compositions can significantly extend the shelf life of fruiting vegetables from cucurbitaceae and solanaceae families, reduce their natural loss of mass and increase the yield of standard product after prolonged storage. For storage, it is essential to select 11 to 14 cm long, intact cucumbers, without torn pedicels. Green zucchini are harvested with a 3 cm pedicel, when length of fruit reaches 16 - 21 cm. Tomatoes of the red degree of ripeness are taken with pedicels. Fruits of pepper should be uniform in size, without torn pedicels, coloured in the main color by 80 ... 90%. Fruits of cucurbitaceae vegetables are immersed in pre-prepared solutions of antioxidant compositions with a temperature of 42 °C for 10 minutes. After drying, the fruits are put in boxes lined with a plastic film (thickness 60 μm), covered with the same film and stored at  $8 \pm 0,5$  °C and a relative humidity of  $95 \pm 1\%$ . Fruits of tomatoes and pepper are immersed in solutions of antioxidant compositions with a temperature of 45 °C for 15 minutes. After drying the fruits are put into boxes lined with a plastic film. The tomatoes are kept in the pre-cooling chamber for 8-10 hours at a temperature of 3-4 °C. Storage temperature of tomatoes is  $2 \pm 1$  °C, relative humidity  $90 \pm 3\%$ . Peppers are stored at  $7,0 \pm 0,5$  °C and relative humidity  $95 \pm 1\%$ .

In the case of strict compliance with all the features of the fruiting vegetables storage technology with combined heat and antioxidant treatment, it is possible to extend the shelf life and maintain high quality of products.

УДК 664.87:635.21

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-146-152

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КАРТОПЛЯНИХ ЧІПСІВ

Калина В. С., к. т. н.,

Вечеря Г. М., магістр

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

Тел. (056) 713-51-46

**Анотація** – у статті наведено результати аналітичних досліджень, обґрунтування існуючих класичних та інноваційних технологій виробництва картопляних чіпсів та впровадження їх у виробництво. Обґрунтовано доцільність використання при виробництві кінцевого продукту в дієтичних цілях.

**Ключові слова** – чіпси, картопля, фритюр, обсмажування, фасування, зберігання.

*Постановка проблеми.* Здоров'я нації, її здатність до перспективного розвитку визначає один з важливих чинників – харчування. Безпечне та якісне харчування є запорукою довголіття, підвищення стійкості організму до несприятливих впливів навколишнього середовища та стабільного росту і розвитку дітей. Картопля входить до числа найважливіших сільськогосподарських культур і є одним з найцінніших продуктів харчування. У структурі харчування населення вона посідає одне з головних місць, поступаючись лише зерновим культурам.

Завдяки своїм харчовим якостям і постійному розширенню асортименту, картопляні чіпси стали продуктом щоденного вжитку для багатьох верств населення, в першу чергу, для молодого покоління. Якість і безпечність картопляних чіпсів залежить, перш за все, від якості основної сировини – картоплі та фритюрного жиру. Для обсмажування чіпсів технологією передбачається використання фритюрного жиру, який виробляють з селективно гідрогенізованої соняшникової або іншої олії. А це визначається цінами на сировину та її доступністю на ринку, від чого значною мірою залежить корисність споживання чіпсів. Тому актуальним є дослідження, обґрунтування інноваційних технологій виробництва картопляних чіпсів та впровадження їх у виробництво.

*Аналіз останніх досліджень.* Промислове виробництво смажених картоплепродуктів почалося ще з 1850 року в американському місті Саратога, з 1913 року їх почали виробляти у

Великобританії під назвою кріпси, а ще півстоліття тому – в СРСР під назвою хрустка картопля.

Переважну більшість чіпсів у світі виробляють за класичною технологією, в основу якої покладено обсмажування у фритюрі очищеної та порізаної на тонкі скибочки картоплі. Класична технологічна схема виробництва картопляних чіпсів складається з наступних операцій [1]: миття бульб картоплі, інспектування, калібрування, очищення, нарізання картоплі, відокремлення дріб'язку, промивання та ополіскування, видалення надлишку води, обсмажування, видалення надлишку олії та охолодження, інспектування, внесення смакових добавок, фасування, пакування, зберігання.

Як правило, очищення бульб картоплі проводять механічним способом в очисних машинах з абразивною поверхнею; парове, лужне чи лужно-парове очищення використовувати не бажано, оскільки, не зважаючи на менші витрати, якість чіпсів погіршується, оскільки по периметру картопляних скибочок після обсмажування утворюється темна тверда скоринка. Очищену картоплю ріжуть на картоплечистках на скибочки, видаляють дріб'язок і вологу для пришвидшення обсмажування [2].

Видалення вологи з поверхні скибочок картоплі для пришвидшення їх обсмажування проводять за допомогою віджимних вальців, покритих гумою, на вібраційних сітчастих транспортерах, сітчастих обертових барабанах, на центрифугах та обдуванням стиснутим й теплим повітрям [3].

Нарізану картоплю обсмажують у фритюрі за температури 170–190 °С. Процес обсмажування картопляних чіпсів пов'язаний з великими витратами тепла, необхідного для нагрівання фритюрних жирів до необхідної температури та випаровування води (дегідратація), що міститься в сирій картоплі. Обсмажування картоплі проводять періодичним і безперервним способами.

Періодичний спосіб обсмажування використовують у разі виготовлення картопляних чіпсів на підприємствах малої потужності, кафе, столових, стадіонах, виставках, ярмарках тощо. Картопляні чіпси, виготовлені у фритюрницях періодичної дії, виходять більш твердими, оскільки не передбачено промивання картоплі після різання. Іноді вводять додаткові операції перед обсмажуванням, за яких скибочки картоплі промивають і видаляють вологу, тоді якість готового продукту значно покращується [1].

Безперервний спосіб обсмажування забезпечує високу якість картопляних чіпсів із мінімальними затратами праці. Обсмажування проводять у спеціальних печах, які входять до складу лінії як основне обладнання, що характеризує продуктивність лінії. Скибочки картоплі завантажують у піч безперервним потоком, рівень олії в печі

підтримують постійним з необхідною для виробництва температурою. З необхідною швидкістю картопляні скибки рухаються вздовж печі та потрапляють на сітчастий транспортер, де надлишковий жир стікає. Внесення смакових добавок або солі на поверхню чіпсів відбувається за допомогою дозуючих пристроїв, які прикріплені над транспортерами [1, 3].

Охолодження після інспекції відбувається за кімнатної температури, примусове охолодження за допомогою обдування холодним повітрям небажане, оскільки може призвести до погіршення якості готового продукту.

Фасування та пакування здійснюють у пакети з лакованого целофану або інших полімерних матеріалів масою від 35 до 200 г. Пакети укладають в ящики з гофрованого картону масою нетто не більш як 12 кг. Тару та пакувальні матеріали використовують чисті, сухі, без стороннього запаху [3].

Останнім часом багато уваги приділяють картопляним чіпсам з низьким вмістом жиру та без використання жиру в технології виробництва. У разі тривалого та високотемпературного обсмажування чіпсів у фритюрі відбувається утворення первинних і вторинних продуктів окиснення, що негативно впливають на якість жирів, які в значній мірі визначають корисність споживання цього продукту. Тому якість фритюру необхідно контролювати за такими показниками, як кислотне, пероксидне та анізидинове числа, що визначають придатність його для використання в технології картопляних чіпсів. Фритюрні жири - найбільш дорогі продукти з тих, що використовуються у виробництві картопляних чіпсів, вміст жиру впливає на собівартість і зовнішній вигляд продукції, оскільки зі збільшеним вмістом жиру картопляні чіпси злипаються та стають маслянистими. Вміст жиру в картопляних чіпсах є одним з важливих показників, що регламентується «ДСТУ 4608:2006 Чіпси і снеки картопляні. Загальні технічні вимоги», масова частка жиру повинна бути не більш як 42,0 % [4].

Літературні дані свідчать [5], що для зменшення вмісту жиру в чіпсах потрібно використовувати картоплю з максимальним вмістом сухих речовин (до 24 %); за умови втрати вологи в шматочках картоплі з 8 до 12 % вміст жиру в них майже не змінюється, а в разі її втрати до 25 % він зменшується на 6 – 8 %. Зменшення кількості жиру можна досягти витриманням шматочків картоплі у розчині хлориду натрію, а також застосовувати підсушку шматочків картоплі перед обсмажуванням.

Вченими Маленко І. М., Маленко В. І. [6] запатентовано спосіб приготування картопляних чіпсів з низьким вмістом жиру. У винаході запропоновано приготування картопляних чіпсів без обсмажування в рослинній олії. Це досягається за допомогою різання картоплі на

скибочки товщиною 1,2 – 1,6 мм, промивання їх у воді температурою 65 °С та зневоднення швидкісними струменями повітря. Потім картопляні скибочки бланшують інфрачервоним випромінюванням високої інтенсивності, піддають дії гарячого повітря до зниження вмісту вологи, досушують у барабанній газовій або електричній печі до кінцевої вологості 0,5 – 2,0 % з наступним нанесенням на чіпси порошкових ароматизаторів або зрошуванням чіпсів рідкою сумішшю рослинної олії з порошковими ароматизаторами, де вміст жиру буде коливатися від 2,4 до 20 %, що значно менше, ніж у класичних чіпсах.

Відомий спосіб виробництва картопляних чіпсів з низькою жиропоглинальною здатністю під час обсмажування, запатентований Субоч Ф. І., Ковганко Р. Л., Давиденко І. А. та ін. [5]. Картоплю миють, очищують від шкірки, нарізають на скибочки товщиною 1,1–1,5 мм і одночасно промивають в полі дії відцентрових сил за 500–800 об/хв тривалістю 2–4 хв, механічно зневоднюють за 800–1400 об/хв тривалістю 6–9 хв, при цьому в кінці процесу подають гаряче повітря температурою 80–190 °С тривалістю 60–100 с, що дозволяє зменшити жиропоглинальну здатність готового продукту.

Авторами [7] розроблено та запатентовано спосіб виробництва картопляних чіпсів, що містять на 30 % менше жиру порівняно з прототипом. Запатентовано та розроблено Прохорцевою Т. В. та Мазуром А. М. [8] спосіб виробництва картопляних чіпсів зі зниженим вмістом жиру в готовому продукті, а також зменшення витрат тепла. Картоплю ріжуть на скибочки товщиною 1,7–2,0 мм, в процесі різання на продукт подають воду температурою 45–50 °С, бланшують скибки картоплі у воді за температури 80–85 °С тривалістю 3,0–3,5 хв, витримують в 5 %-му водному розчині кухонної солі тривалістю 15 хв, підсушують гарячою парою від обсмажувальної печі та обсмажують за температури 145–150 °С тривалістю 3,0 – 3,5 хв. Цей спосіб дозволяє одержати готовий продукт з меншим на 10 – 15 % вмістом жиру і більш високими органолептичними показниками.

*Формування цілей статті.* Розглянути існуючі та перспективні технології виробництва картопляних чіпсів з мінімальним вмістом фритюрного жиру або взагалі без нього, що дасть змогу використовувати картопляні чіпси в якості дієтичного продукту.

*Основна частина.* Окрім вище зазначених технологій існують інноваційні технології картопляних чіпсів, а саме виробництво картопляних чіпсів без використання фритюру. Це дієтичний, готовий до вживання продукт, що містить до 15 % жиру. Чіпси отримують зі свіжої картоплі, очищеної й нарізаної на скибочки з наступним випіканням у мікрохвильовому чи інфрачервоному випромінюванні в печах з радіаційним обігрівом з подальшим обробленням

ароматизаторами на основі рослинної олії. Перевага цієї технології в тому, що одержують низькокалорійні чіпси за рахунок відсутньої операції обсмажування в жирі, в той же час вони не поступаються класичним чіпсам за органолептичними показниками [1].

Ще одним інноваційним рішенням у виробництві картопляних чіпсів є спосіб обсмажування чіпсів під вакуумом для поліпшення кольору. Чіпси спочатку обсмажують у звичайній печі у фритюрі для надання бажаного кольору та вологості 10 %, а потім пропускають через вакуум-обсмажувальну піч. Цей спосіб дозволяє одержати продукт, у якого масова частка жиру менша на 5 % порівняно з класичними чіпсами [1, 9].

Картопляні скибочки спочатку обсмажують в жирі до світло-золотистого кольору за температури 160–180 °С до вологості 10–20 % у традиційній печі, далі на транспортері їх пропускають через мікрохвильову піч, де вони, не змінюючи кольору, досушуються без жиру до масової частки вологи 2–3 %. Наступним інноваційним підходом до технології виробництва картопляних чіпсів є впровадження операції бланшування, необхідної для інактивації ферментів й зменшення місту редукуючих цукрів у скибочках картоплі. Щодо процесу бланшування з боку виробників ведуться дискусії. Одні вважають, що ця операція негативно впливає на смак чіпсів, а інші стверджують, що вона погіршує колір чіпсів. Компанія РРМ (Швеція), яка розробила свою власну систему бланшування, рекомендує проводити бланшування лише за необхідності [1].

*Висновки.* Перевага інноваційних способів над класичною технологією картопляних чіпсів, а саме: мікрохвильовою енергією, інфрачервоними променями полягає в тому, що дозволяє одержати продукт з мінімальним вмістом канцерогенних речовин, а саме – акриламід. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, найбільша кількість акриламід міститься в картопляних чіпсах. Під час обсмажування картоплі у фритюрі за високих температур редукуючі цукри вступають у реакцію з амінокислотами, утворюються меланоїдини та канцерогенні речовини – відбувається так звана реакція Майяра. Для зменшення кількості акриламід в картопляних чіпсах і, таким чином, зменшення його кількості потрапляння в організм людини необхідно удосконалювати класичну технологію виготовлення продукту.

Наукові дослідження щодо зменшення масової частки жиру в картопляних чіпсах і визначення акриламід в них в Україні не проводили. У зв'язку з цим постало питання про удосконалення класичних технологій та наукове обґрунтування процесів, що відбуваються при виробництві картопляних чіпсів.

## Література:

1. Картопля / за ред. А. А. Бондарчука, М. Я. Полоцького, В. С. Куценка. Біла Церква, 2007. Т. 3. 536 с.
2. Удосконалення ресурсозберігаючих процесів переробки бульбоплодів: монографія / Г. В. Дейниченко [та ін.]. Харків: Факт, 2015. 200 с.
3. Михайлов В. Ю. Линии малой мощности по переработке картофеля // Пищевая промышленность. 2000. № 2. С. 27.
4. ДСТУ 4608:2006. Чіпси і снеки картопляні. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2007-09-14]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.
5. Способ получения хрустящего картофеля: пат. 980675 СССР: МПК А 23L 1/216. № 3275056/28-13; заявл. 08.04.81; опубл. 15.12.82. Бюл. № 46.
6. Спосіб приготування картопляних чіпсів з низьким вмістом жиру: пат. 58348 А Україна: МПК А 23L 1/217. № а 2002119500; заявл. 28.11.2002; опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.
7. Способ получения хрустящего картофеля: пат. 1797473 СССР: МПК А3, А 23L 1/217 (4872232/13); заявл. 09.10.90; опубл. 23.02.93. Бюл. № 7.
8. Способ получения хрустящего картофеля: пат. 12043 Республика Беларусь: МПК А 23L 1/214 (2009.06.30). № а 20080334; заявл. 21.03.2008; опубл. 30.08.2008.
9. Способ производства картофельных полуфабрикатов. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/233/2332014.html> (дата звернення: 13.10.2017)

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЬНЫХ ЧИПСОВ

Калина В. С., Вечера А. М.

**Аннотація** – в статті представлені результати аналітичних досліджень науково-технічної і патентної інформації по технологічним проблемам існуючих класических і інноваційних технологій виробництва картофельних чіпсов.

Обоснована целесобразность использования технологий обжаривания при периодическом или непрерывном способах производства конечного продукта в диетических целях.

Обоснованы параметры и режимы производства картофельных чипсов: температура, продолжительность времени на необходимой стадии, толщина ломтя картофеля, количество содержания фритюрного жира или отсутствие его.



**Определены причины использования сырья для получения качественного продукта при: минимальных затратах труда, контроле показателей качества жира (кислотное, пероксидное, анизидиновое числа) после обжаривания чипсов.**

## **ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES PRODUCTION OF POTATO CHIPS**

V. Kayna, G. Vecherya

### *Summary*

The article presents the results of analytical studies of scientific, technical and patent information on the technological problems of existing classical and innovative technologies for the production of potato chips.

The feasibility of using roasting technologies for periodic or continuous methods of production of the final product for dietary purposes is substantiated.

The consistency of the use of roasting technologies in periodic and continuous ways is substantiated. Periodic method of cooking potato chips used in the production of small capacity (cafes, canteens, stadiums, exhibitions, fairs), they are made in fryers of periodic action, turn out to be more solid, since potato washing is not provided after cutting. Sometimes you enter additional operations before roasting, in which slices of potatoes are washed and removed moisture, then the quality of the finished product greatly improves. The continuous method of roasting provides high quality potato chips with minimal labor costs. Roasting is carried out in special ovens. The potato slices are loaded into the oven by a continuous flow with the required temperature for production. Potato slices move along the stove and fall into the mesh conveyor, where excess fat drips. The addition of flavor additives or salt to the surface of chips occurs with the help of dosing devices attached to the conveyors.

Considered and justified all stages of the production of potato chips: washing, cleaning, cutting, washing, blanching, drying, roasting, cooling, packaging and packaging.

The parameters and modes of production of potato chips are substantiated: temperature, length of time at the required stage, thickness of a potato slice, the amount of frying fat content or lack of it.

The reasons for the use of raw materials for obtaining a quality product with: minimum labor costs, monitoring the quality indicators of fat (acid, peroxide, anisidine numbers) after roasting chips are determined.

УДК 664.71-12

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-153-159

## ВПЛИВ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ОБРОБКИ НА ЯКІСТЬ ФЕРМЕНТОВАНОГО ЖИТНЬОГО СОЛОДУ

Міснянкін Д. О., к. т. н.,  
Андрущенко Б. О., магістр,  
Угрімова Д. А., магістр  
*ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»*

**Анотація** – у статті наведено результати досліджень процесу екструзії ферментованого житнього солоду. Отримані експериментальні дані, що відображають позитивну зміну фізико-хімічних показників солоду після екструзії. Визначені оптимальні температурні режими та значення вологості вихідної сировини для реалізації екструзійної обробки солоду.

**Ключові слова** – екструзія, ферментований житній солод, показники.

*Постановка проблеми.* Житній ферментований солод – прекрасний компонент для приготування житніх, житньо-пшеничних, солодових сортів хліба. Він сприяє кращому водопоглинанню, забезпечує хорошу еластичність тіста, покращує структуру м'якушки хліба, утворює розчинні речовини, які посилюють бродіння і збільшує термін зберігання готового продукту. Солод збагачений великою кількістю вітамінів, корисних мікроелементів і мінералів.

Вагомою проблемою на сьогоднішній день є виробництво ферментованого темного житнього солоду високої якості, який застосовується для виробництва хліба, квасу, темного пива, як натурального барвника для продуктів харчування та ін. Суть проблеми полягає в тому, що існуючі підприємства України з виробництва ферментованого житнього солоду технологічно, у рамках підприємства, не здатні досягти необхідних якісних фізико-хімічних показників солоду.

Тому актуальним завданням є пошук ефективного способу підготовки зернової сировини, поліпшення і удосконалення технології, а також впровадження нових технологій і методів переробки готових продуктів з метою виробляти більш якісний ферментований житній солод, який буде раціональною заміною дорогому імпортному аналогу. Як один із способів по переробці готового продукту був запропонований і випробуваний метод екструзійної обробки ферментованого житнього солоду.

*Аналіз останніх досліджень.* Одним з основних процесів при виробництві темного солоду є тривале обжарювання при високих (від 160<sup>0</sup> до 230<sup>0</sup>C) температурах. Це складна і дорога технологія. Альтернативою цій технології може бути екструзійна обробка солоду. Одночасна дія на матеріал вологи, тепла та механічних напружень призводить до деструкції біополімерів зерна (крохмалю та білку) при паралельному протіканні реакцій неферментативного потемніння, завдяки чому підсилюється колір готового продукту і може бути підвищений вихід екстракту при затиранні. Так як житній ферментований солод широко використовується при випіканні хлібу, то підвищення його екстрактивності дозволить уникнути такої операції, як заварювання перед внесенням солоду у тісто [1].

Аналіз літературних джерел свідчить про постійно зростаючу цікавість до екструзійної обробки різноманітної сировини. Екструдовані продукти мають високі споживчі властивості, низьку обсіменінність мікроорганізмами, добре засвоюються, володіють підвищеною стійкістю до окислення.

Основними перевагами екструзії є гнучкість технологічних схем, висока продуктивність, малі габарити екструдерів, безперервність процесу, низька собівартість продукції. Однак, ця технологія не знайшла широкого розвитку та потребує цілого ряду комплексних мір, що в першу чергу пов'язано з недостатнім вивченням процесу у переробних галузях промисловості. Проведені дослідження були направлені на розробку технології та оцінку якості готової продукції без реального втілення їх у виробництво; науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи зі створення екструдерів проведені в обмеженій кількості. Запропоновані математичні моделі екструдерів дозволяють отримати з певним ступенем наближення математичний опис процесу екструзії та розрахувати його основні характеристики. Але ж разом з тим можливості екструзійної обробки при підготовці сировини до екстрагування вивчені недостатньо, тому пошук шляхів одержання темних солодових продуктів є економічно доцільним [2].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Мета роботи полягає в розробці технології екструдованого ферментованого житнього солоду, призначеного для переробки в солодові екстракти для використання в хлібопекарській промисловості з метою розширення асортименту та поліпшення якості хлібобулочних виробів, а також виявити доцільність його використання, як сировини при виробництві житньо-пшеничного хліба та квасу [3].

*Основна частина.* Одними з найважливіших якісних характеристик ферментованого солоду є екстрактивність та колір. Для дослідження якісних змін ферментованого житнього солоду було запропоновано порівняти результати експериментів, проведених з

застосуванням прес-екструдера з результатами традиційної схеми виробництва (без екструдера).

Обираючи прес-екструдер для проведення експериментальних досліджень впливу екструзійної обробки солоду житнього ферментованого звертали увагу на наступні фактори:

- наявність механізму автоматичної подачі матеріалу;
- наявність пристрою моніторингу температури всередині робочої камери;
- наявність аналогічної моделі високої продуктивності для перспективи впровадження технології у виробництво;
- простота та надійність конструкції;
- ліквідність обладнання;
- взаємозамінність обладнання;
- простота експлуатації;
- наявність або можливість встановлення системи автоматизації обладнання;
- екструдер за призначенням повинен відноситись до типу зернових;
- раціональність з економічної точки зору.

Також при виборі екструдера необхідно враховувати циклічність процесу виходу з солодовні готового солоду. При періодичному використанні прес-екструдера виникають труднощі, які пов'язані з:

- необхідністю постійного розбирання корпусу робочої камери прес-екструдера для її очищення;
- втратою продукту, внаслідок отримання некондиційного матеріалу на початку та закінченні процесу екструзії;
- необхідністю в додатковій робочій силі.

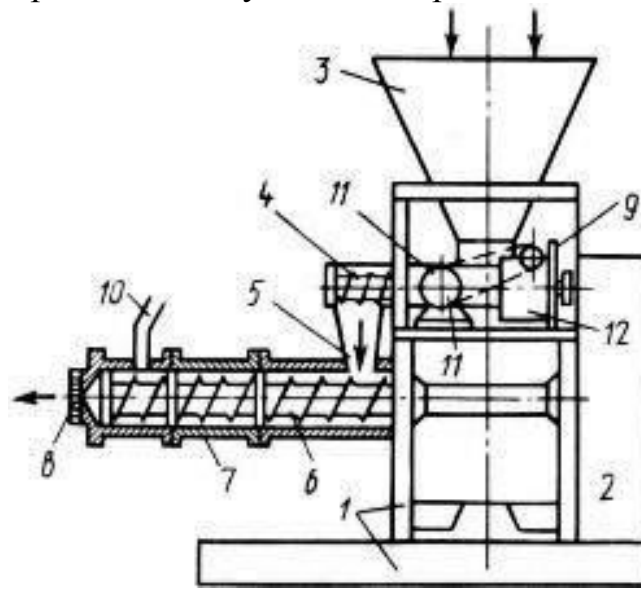
Враховуючи вищезгадані фактори, для експериментального дослідження обрали зерновий прес-екструдер вітчизняного виробництва моделі ЕКЗ-75Ш, який наведено на рис. 1.

Вихід екструдеру здійснюється через фільтру в носовому корпусі і регулювальному диску. Поворот регулювального диска змінює прохідний перетин, тим самим регулюючи температуру і тиск у корпусі екструдеру. Температура в обраному екструдері може досягати 180<sup>0</sup>С, що дозволяє уникнути необхідності встановлення додаткового пристрою підігріву [4]. За допомогою термопари в корпусі є можливість виміру температури в зоні пресування [5].

Змінним параметром в експерименті, підчас екструзійної обробки, була вологість вихідної сировини. Після екструзії контролювали вологість, екстрактивність, кислотність, колір та органолептичні показники у відповідності до методик [6 – 8].

Температуру при екструзії піддержували на рівні 160<sup>0</sup>С. Це пов'язано з тим, що темне забарвлення солод набуває завдяки

утворенню меланоїдинових пігментів внаслідок взаємодії амінокислот і редукуючих цукрів; це взаємодія глікозидного гідроксилу цукру з аміногрупою амінокислот, поліпептидів, білків при високих температурах. Цей процес називається реакцією Майяра і є серією хімічних перетворень з утворенням складних сполук, серед яких провідне місце займають речовини коричневого кольору різних відтінків. З підвищенням температури на кожні  $100^{\circ}\text{C}$  швидкість реакції меланоїдиноутворення підвищується в 2-3 рази [4].



1 – основна рама; 2 – основний привід; 3 – бункер; 4 – шнек-дозатор; 5 – приймальна камера; 6 – нагнітаючий шнек; 7 – збірний корпус; 8 – матриця; 9 – привід шнеку дозатора; 10 – термометр; 11 – електродвигун постійного струму; 12 – редуктор.

Рис. 1. Зерновий прес-екструдер ЕКЗ-75Ш.

При температурі більше ніж  $160^{\circ}\text{C}$  погіршуються органолептичні показники солоду, він має пригорілий запах та гіркий смак.

Нижче наведені порівняльні данні якісних показників чотирьох зразків ферментованого житнього солоду з різною початковою вологістю до та після процесу екструзії. Так як після сушки вологість солоду становить 8–10%, то для її збільшення в експериментах проводили додаткове зволоження. Для виявлення змін у органолептичних показниках проводили заварювання солоду.

Зразок № 1. При заварюванні водою заварка солоду після процесу екструзії гущіша ніж до екструзії, шовковиста, має кисільну консистенцію, пригорілий запах, гіркий смак, тверді частинки відсутні. Зміна якісних показників наведена в табл. 1.

Зразок № 2. Органолептичні показники зразку № 2 виявилися подібними до зразку № 1. Зміна якісних показників наведена в табл. 2.

Таблиця 1 – Якісні показники зразку № 1

Показник	До екструзії	Після екструзії
Вологість, %	10,4	1,7
Екстрактивність, %	48,7	55,6
Кислотність, см <sup>3</sup> NaOH/100г	41,9	36,8
Колір, см <sup>3</sup> I/100г	10,1	34,7

Таблиця 2 – Якісні показники зразку № 2

Показник	До екструзії	Після екструзії
Вологість, %	12,3	4,2
Екстрактивність, %	46,7	57,9
Кислотність, см <sup>3</sup> NaOH/100г	38,4	40,7
Колір, см <sup>3</sup> I/100г	17,6	28,2

Зразок № 3. При заварюванні водою заварка солоду після процесу екструзії гущіша ніж до екструзії, шовковиста, має кисільну консистенцію, приємний хлібний аромат, кисло-солодкий смак, тверді частинки відсутні. Зміна якісних показників наведена в табл. 3.

Таблиця 3 – Якісні показники зразку № 3

Показник	До екструзії	Після екструзії
Вологість, %	14,3	9,0
Екстрактивність, %	47,5	55,1
Кислотність, см <sup>3</sup> NaOH/100г	39,7	40,0
Колір, см <sup>3</sup> I/100г	10,2	14,9

Зразок № 4. Органолептичні показники зразку № 4 виявилися подібними до зразку № 1. Зміна якісних показників наведена в табл. 4.

Таблиця 4 – Якісні показники зразку № 4

Показник	До екструзії	Після екструзії
Вологість, %	16,7	8,2
Екстрактивність, %	46,7	53,5
Кислотність, см <sup>3</sup> NaOH/100г	38,4	45,2
Колір, см <sup>3</sup> I/100г	17,6	21,5

За даними наведених таблиць видно, що після екструзійної обробки у всіх чотирьох зразках збільшилась екстрактивність та змінився колір на більш темний. Але наявність пригорілого запаху та гіркота смаку у 1 та 2 зразках, свідчать про «підгоряння» солоду, що буде негативно відобразатись на органолептичних показниках харчових продуктів, в які буде добавлятися екструдат.

*Висновки.* За результатами експериментів було встановлено, що оптимальною температурою екструзійної обробки солоду є 160<sup>0</sup>С,

так як при більш низьких температурах екструдат не мав однорідної структури, яскраво вираженого смаку та аромату, а при температурах вище за вказану, продукт мав пригорілий запах, гіркий на смак та містив тверді частинки. Оптимальне значення вологості вихідної сировини знаходиться в межах 14–18%. При такій вологості екстрактивність підвищилась на 6,8%, колір готового продукту на 3,9%, а солод мав приємний хлібний аромат та кисло-солодкий смак. Отже, застосування екструзійної обробки ферментованого житнього солоду є економічно доцільним, може розглядатись, як альтернатива обжарюванню для одержання темного солоду. Але для зміни традиційно технологічної схеми необхідні додаткові експерименти на діючих підприємствах з більш продуктивними екструдерами.

#### Література:

1. *Гари З. Э.* Совершенствование технологи ржаных солодовых экстрактов с применением экструзии : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01. Москва, 2010. 26 с.
2. *Остриков А. Н., Абрамов О. В., Рудометкин А. С.* Экструзия в пищевой технологии. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. 288 с.
3. *Андрущенко Б. О., Угримова Д. А., Миснянкін Д. О.* Экструзійна обробка ферментованого житнього солоду // Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: збірник праць за підсумками VII Міжнар. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів (м. Київ, 27-28 квітня 2017 р.). Київ, 2017. С. 290-291.
4. *Нарцисс Л.* Технология солодоращения. Санкт-Петербург: Профессия, 2007. 640 с.
5. Экструдеры зерновые ООО Лаврин. URL: <http://lavrin.com.ua/ru/products/ekstrudery-zernovye-soevye/ekstruder-zernovoy-ekz-75.html> (дата звернення: 02.12.2018).
6. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. Москва: изд-во стандартов, 1993. 7 с.
7. ГОСТ 29272-92. Солод ржаной сухой. Технические условия. Москва: изд-во стандартов, 1992. 21 с.
8. ГОСТ 12136-77. Зерно. Метод определения экстрактивности. Москва: изд-во стандартов, 1978. 5 с.

### **ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ФЕРМЕНТИРОВАННОГО РЖАНОГО СОЛОДА**

Миснянкін Д. А., Андрущенко Б. А., Угримова Д. А.

**Аннотація** – в статті приведені результати досліджень процесу екструзії ферментованого ржаного солода. **Цель**

работы это поиск эффективного способа подготовки зернового сырья, усовершенствование технологии получения более качественного ферментированного ржаного солода. Получены экспериментальные данные, отображающие позитивные изменения физико-химических показателей солода после экструзии. Определены оптимальный температурный режим и значение влажности исходного сырья для экструзионной обработки солода.

## INFLUENCE OF EXTRUSION TREATMENT ON QUALITY OF FERMENTED OF RYE MALT

D. Misnyankin, B. Andrushenko, D. Ugrimova

### *Summary*

To the article the results of researches of process of extrusion of the fermented rye malt are driven. Rye fermented malt wonderful component for baking of bread. It provides elasticity of test, improves fermentation, increases an expiration date. A malt contains many vitamins, useful microelements and minerals. An important problem to date is a production of the fermented dark rye to the malt high quality for a panification, kvass, dark beer and as a nature-color for foodstuffs.

The aim of work was search of effective method of preparation of grain-growing raw material, improvement of technology of receipt of more quality fermented rye malt. Advantages of extrusion is flexibility of flowsheets, high yield, small sizes of extruders, continuity of process, subzero unit cost. There is simultaneous influence of moisture at an extrusion, heat and mechanical tensions results in destruction of biopolimers of grain (starch and albumen) at the simultaneous flowing of reaction of the not fermented darkening, due to what the color of the prepared product increases and an extract rises.

On results experiments the optimal temperature of extrusion that made 160<sup>0</sup>C was set. At more subzero temperatures a malt does not have an expressed taste and aroma, and at high temperatures has an empyreumatic smell and bitter taste. Optimum moisture source cheese forms 14 18%. As a result it was succeeded to promote extract on 6,8%, and color of product on 3,9%. Application of extrusion of the fermented rye malt is economically expedient and can be an alternative to frying.



УДК 664.2:664.87

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-160-167

## **ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ КРОХМАЛІВ У ВИРОБНИЦТВІ СУХИХ СУМІШЕЙ КИСЕЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Мельник О. Ю., к. т. н.,  
Шинкаренко К. О., магістр  
Сумський національний аграрний університет  
Тел. (096) 432-80-72

**Анотація** – статтю присвячено удосконаленню технології виробництва сухих сумішей киселю. Теоретично і експериментально обґрунтовано заміну нативного крохмалю у складі суміші на модифікований картопляний крохмаль холодного набухання та внесення до страви цукатів з айви для збагачення харчової цінності продукту.

Визначено вміст модифікованого крохмалю та екстракту смородини в сухій суміші, надано порівняльну таблицю харчової і енергетичної цінності нового продукту та страви аналогу. Встановлено, що модифікований крохмаль, який вносять у рецептуру киселю пришвидшує приготування та дає змогу уникнути термічної обробки продукту для збереження чутливих до високих температур вітамінів.

**Ключові слова** – модифікований крохмаль, екстракт, суха суміш, біологічна цінність, теплова обробка.

*Постановка проблеми.* Для підвищення попиту і конкурентності продукції необхідно забезпечити її високу якість. Для подовження терміну зберігання, підвищення смакоароматичних властивостей продукту, підвищення якості на підприємствах харчової промисловості використовують харчові добавки, серед яких особливе місце посідає модифікований крохмаль. Модифікація нативного крохмалю дає можливість отримати похідні, які мають ряд переваг: зниження або підвищення в'язкості клейстеру та температури клейстеризації; підвищення розчинності у холодній воді; зниження схильності до ретроградації; підвищення стійкості до синерезису; стійкість до механічного впливу та внесення рецептурних компонентів (кислоти, цукру, солі). Властивості модифікованих крохмалів дозволяють створювати широкий спектр продуктів гелеподібної, драгелеподібної та піноподібної структури, сприяють покращенню консистенції, стабілізують харчові системи та здатні подовжувати термін зберігання напівфабрикатів та готових виробів.

Виробництво харчових продуктів на сьогодні неможливе без використання харчових добавок, тому вивчення властивостей модифікованих крохмалів є досить актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженню властивостей набухаючих, екструдованих модифікованих крохмалів присвячено багато наукових праць, серед яких роботи В. М. Ковбаси, О. В. Грабовської, І. Л. Корецької, які досліджували властивості модифікованих крохмалів та можливості використання різних видів крохмалю у виробництві харчових концентратів та кондитерських виробів [1,2].

Однак асортимент модифікованих крохмалів вітчизняного та зарубіжного виробництва досить широкий, тому дослідження їх властивостей, проведення гігієнічної регламентації є необхідною умовою визначення можливостей застосування модифікованих крохмалів у виробництві харчових продуктів.

*Постановка завдання.* Актуальність даної роботи визначається необхідністю удосконалення технології сухих сумішей функціонального призначення шляхом заміни в рецептурному складі структуроутворюючого компоненту, а саме заміни нативного крохмалю на модифікований картопляний холодного набухання та додавання в суміш цукатів з айви.

Метою роботи є встановлення можливості використання модифікованих крохмалів для виробництва сухої суміші киселю, який не потребує теплового оброблення для приготування готової страви, в результаті сприятиме збереженню поживних та біологічно-активних речовин сировини нового продукту.

*Основна частина.* Харчоконцентратна промисловість для виробництва сухих сумішей киселю використовує сертифіковану сировину. За рецептурним набором харчові концентрати мало відрізняються від звичайних продуктів харчування і у відновленому вигляді за біологічною цінністю майже ідентичні їм. Підвищити харчову і енергетичну цінність сухої суміші можна внесенням функціональних інгредієнтів при розробці рецептури.

Термічні процеси виробництва харчових концентратів обумовлюють інактивацію ферментів, внаслідок чого ферментативні зміни в харчових концентратах протікають вкрай повільно, а в багатьох випадках абсолютно призупинені.

Застосування герметичної упаковки призводить до ізоляції продукту від дії світла, повітря і забезпечує збереження низької вологості, затримує протікання не ферментативних реакцій. Зазначені обставини сприяють тривалому зберіганню харчових концентратів [3].

До харчових концентратів солодких страв відносять цілу групу продуктів, що представляють собою механічну суміш цукру-піску, крохмалю, різних смакових добавок, що входять в той чи інший виріб

в кількостях відповідно до рецептури. Сухі суміші киселів не є винятком, і мають великий асортимент завдяки різноманітним поєднанням плодових і ягідних екстрактів.

Кисіль – поживна, калорійна страва, яка у готовому вигляді здійснює поблажливу дію на кишково-шлунковий тракт людського організму, що є важливим показником для людей, які страждають підвищеною кислотністю або гастритом і виразковими хворобами шлунку та дванадцятипалої кишки. Споживання киселю покращує перистальтику кишечника, сприяє очищенню шлунково-кишкового тракту від токсинів і шкідливих бактерій, зменшує запалення органів травлення, нормалізує мікрофлору кишечника, запобігає розвитку дисбактеріозу.

Оскільки в рецептуру сухої суміші киселю входить нативний картопляний крохмаль, нами пропонується заміна його на модифікований картопляний крохмаль холодного набухання з метою уникнення теплової обробки при приготуванні готової страви, що дасть можливість залишити в киселі вітаміни та інші біологічно активні компоненти, які чутливі до зміни температури, надати готовому продуктові більш привабливий зовнішній вигляд та подовжити термін зберігання.

В ході дослідницької роботи використовували один зразок нативного крохмалю (ДСТУ 4286:2004) та 5 зразків крохмалів різних модифікацій виробництва Швеції і один зразок виробництва Франції:

1. Заварювальний загусник;
2. Холоднонабухаючий загусник Pregeflo PJ 30, E 1414;
3. Гелеутворювач Lyskeby 123, E 1420;
4. Заварювальний загусник Microlys 56, E 1442;
5. Заварювальний загусник Lyskeby 11200, E 1420;
6. Заварювальний загусник Microlys 56, E1442.

Першим етапом роботи стало визначення властивостей вибраних модифікованих крохмалів.

З літературних джерел відомо, що для крохмалю різного походження різке збільшення ступеня набухання відбувається при нагріванні суспензії до певної температури, значення якої лежать в широких межах [4].

Процес клейстеризації крохмалю є основним в утворенні структури готового продукту, тому нами було визначено ступінь клейстеризації крохмалю за допомогою вимірювання часу, за який утворився клейстер та температури клейстеризації, для цього 3 г крохмалю поміщали в конічну колбу, додавали 150 г води, перемішували. Колбу ставили на киплячу водяну баню до утворення клейстеру, визначали швидкість клейстеризації та температуру утворення клейстеру. Результати дослідження наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Дослідження процесу клейстеризації крохмалю

№ зразка	Початкова температура клейстеризації t, °C	Час початку клейстеризації, τ	Час кінця клейстеризації, τ	Час, за який утворився клейстер, хв
1	67	12,31	12,35	6
2	25	12,22	12,27	5
3	62	12,28	12,30	2
4	62	12,41	12,46	6
5	60	12,46	12,49	3
6	62	12,33	12,40	7

В результаті дослідження процесу клейстеризації було визначено температуру, час початку та кінця утворення клейстеру.

Як видно з таблиці, найшвидше клейстеризувалися зразки № 2 та 5, причому зразок № 2 утворив клейстер уже при  $t = 25^{\circ}\text{C}$ . Триваліше клейстеризація проходила у зразків № 6 та 4. Зразки № 3, 4 та 6 мали температуру клейстеризації, як і у нативного картопляного крохмалю.

Наступним етапом роботи стало визначення драглеутворюючої здатності. Драглеутворююча здатність визначалась органолептично, для цього готували зразки клейстерів модифікованих крохмалів концентрацією 5% та аналізували стан утворених драглів за наступними показниками: структура, консистенція, колір, прозорість, стійкість до зберігання. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Органолептична оцінка утворених драглів

№ зразка	Органолептична оцінка
1	Утворює в'язкий густий короткорваний клейстер світло-сірого кольору. Непрозорий.
2	Утворює високов'язкий клейстер. Прозорий. Не утворює драглю.
3	Утворює рідкий сіруватий клейстер з плівкою на поверхні, має текучу структуру. Не розшаровується.
4	Утворює високов'язкий короткорваний клейстер, прозорий. Структура однорідна мазка.
5	Рідкий текучий клейстер сірого кольору з незначними утвореннями плівки. Драглі не утворює.
6	Густий однорідний клейстер світло-сірого кольору. Короткорваний, відносно прозорий, мазкий. Не утворює драглю.

Оскільки метою роботи є розробка сухої суміші киселю швидкого приготування, нами було обрано зразок № 2 - холоднонабухаючий загусник Pregeflo PJ 30, E 1414, виробництва Франції, який клейстеризувався за температури 25°C і не потребував термічного оброблення для приготування клейстеру. Даний модифікований крохмаль утворив прозорий високов'язкий клейстер без грудочок, який при зберіганні не розшаровувався.

Другим етапом роботи було внесення фруктових добавок для збагачення готового киселю вітамінами і харчовими волокнами.

Наш кисіль планується виготовляти з використанням екстракту смородини і додаванням цукатів із айви.

Якщо говорити про склад айви, то потрібно відзначити, що вона є джерелом вітамінів і біологічно активних речовин, таких як, пектини, органічні кислоти, різні види фруктових цукрів, кальцію, міді, фосфору, нікелю, бору, магнію і заліза. Крім того серед вітамінів у складі айви містяться вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, Е, аскорбінова кислота і каротин.

Екстракт смородини містить аскорбінову кислоту, бета-каротин, вітаміни Е, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, РР, а також калій, кальцій, натрій, фосфор, магній.

Оскільки дисперсність екстракту відіграє важливу роль в утворенні готової продукції гарної якості, було визначено вміст різних фракцій в складі екстракту шляхом просіювання порошку через сита з діаметрами отворів  $d_1 = 0,2$  мм;  $d_2 = 0,09$  мм;  $d_3 = 0,056$  мм.

Співвідношення часточок різного розміру представлено на рисунку 1.

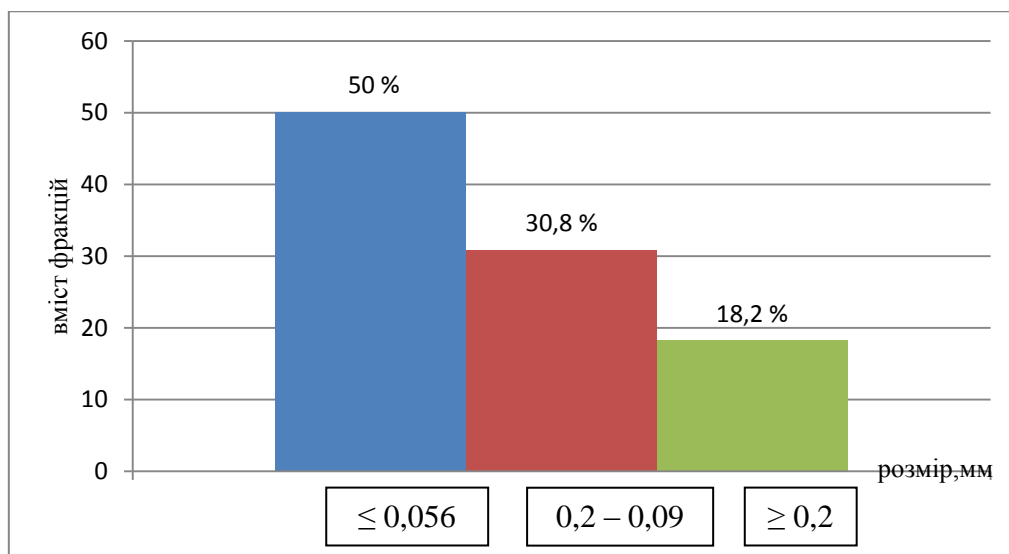


Рис. 1. Співвідношення різних фракцій екстракту смородини.

В результаті досліджень встановлено співвідношення різних фракцій:  $d_1 = 18,2\%$ ,  $d_2 = 30,8\%$ ,  $d_3 = 51,0\%$ , які використовували у

приготуванні готової страви. За допомогою органолептичної оцінки встановили, що у готовому продукті з використанням фракції екстракту з розміром частинок  $\leq 0,056$  мм не відчуються крупинки порошку, тому для подальшого використання нами було обрано цю фракцію просіяного екстракту.

В результаті органолептичних досліджень було розроблено рецептуру сухої суміші киселю з додаванням 7% екстракту чорної смородини і 35% цукатів з айви до маси сухої суміші.

Наступним кроком було визначення відношення кількості сухої суміші до кількості води для отримання необхідної в'язкості готового киселю, яке встановили дослідним шляхом. Для цього готували кисіль з додаванням води до 100 грамів сухої суміші у кількості 300 мл, 350 мл, 400 мл і за допомогою органолептичної оцінки встановили, що гідромодуль становить 1:4.

Оскільки у складі сухої суміші киселю використовується екстракт смородини і цукати айви, які мають високу харчову цінність та велику кількість вітамінів, нами було розраховано харчову і енергетичну цінність нового продукту та киселю швидкого приготування [5]. Результати розрахунку наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняльна таблиця харчової цінності для розробленої страви та аналогу на 100 г готового продукту

Складові	Кисіль швидкого приготування	Кисіль «Хвилинка»
Білки, г	0,3	0,6
Жири, г	0	0,2
Вуглеводи, г	90,5	94,2
Харчові волокна, г	0	2,5
V <sub>1</sub> , мг	0,005	0,007
V <sub>2</sub> , мг	0,005	0,012
РР, мг	0,05	0,05
С, мг	0,97	10,2
Енергетична цінність, ккал	353	568

Аналіз отриманих даних показав, що новий продукт містить підвищену кількість вуглеводів – 94,2 г (серед яких фруктоза, глюкоза), харчові волокна – 2,5% та високий вміст аскорбінової кислоти до 10,2%. Розроблена страва є поживною та корисною.

*Висновки.* Використання модифікованого крохмалю холодного набухання дасть змогу готувати кисіль без використання високих температур, що дозволить зберегти більшість вітамінів, які втрачаються під час технологічного оброблення страви, а додавання в

рецептуру екстракту смородини і цукатів з айви дозволить підвищити харчову цінність готової страви.

Література:

1. Дослідження основних фізико-хімічних властивостей набухаючі видів крохмалю / В. Я. Пічкур та ін. // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Т. 2, № 48. С. 148-152.

2. *Самойленко І. П., Корецька І. Л., Ковалевська Є. І.* Властивості модифікованих крохмалів та їх вплив на фізико-хімічні параметри емульсійних систем // *Ukrainian Food Journal*. 2015. № 1. С. 30-33.

3. *Бачурская Л. Д., Гуляев В. Н.* Пищевые концентраты. Москва: Пищевая промышленность, 1976. 335 с.

4. *Филипс Г. О., Вильямс П. А.* Справочник по гидроколоидам / Пер. с англ.; под ред. А. А. Кочетковой, Л. А. Сарафановой. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 536 с.

5. ДСТУ 2418:2003. Концентрати харчові. Солодкі страви. Киселі. Загальні технічні умови. [Чинний від 2003-09-15]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с.

6. ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Загальні технічні умови. [Чинний від 2005-02-28]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.

7. Крохмалепродукти. Модифіковані види крохмалю. URL: [http://pidruchniki.com/11340614/tovaroznavstvo /krohmaleprodukti](http://pidruchniki.com/11340614/tovaroznavstvo/krohmaleprodukti) (дата звернення: 20.11.2018).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУХИХ СМЕСЕЙ КИСЕЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Мельник О. Ю., Шинкаренко Е. А.

**Аннотация** – статья посвящена усовершенствованию технологии производства сухих смесей киселя. Теоретически и экспериментально обоснована замена нативного крахмала в составе смеси на модифицированный картофельный крахмал холодного набухания и внесения в кисель цукатов из айвы для повышения пищевой ценности продукта.

Установлено, что модифицированный крахмал, который вносят в рецептуру киселя, ускоряет приготовление и позволяет исключить термическую обработку продукта для сохранения чувствительных к высоким температурам витаминов.

## **THE USE OF MODIFIED STARCHES IN THE PRODUCTION OF DRY KISSEL MIXTURES OF FUNCTIONAL PURPOSE**

O. Melnyk, K. Shynkarenko

### *Summary*

**The article is devoted to the improvement of the production technology of dry kissel mixtures. It is theoretically and experimentally justified to replace native starch in the mixture with modified potato starch of cold swelling and add quince candied fruits to the dish to enrich the biological value of the product.**

**Since the dry formulation of the jelly includes native potato starch, it is proposed to replace it with a modified potato starch of cold swelling to avoid heat treatment in the preparation of the finished dish. As a result of organoleptic studies, a dry mix of jelly was prepared with the addition of 7% black currant extract and 35% quinces of quince to a mass of dry mix.**

**The ratio of dry mix and water to prepare the finished dish is established.**

**The nutritional value and energy value of a new product and fast jelly are calculated, the finished dish contains high content of ascorbic acid, food fibers, is nutritious and useful.**

**The content of modified starch and currant extract in the dry mixture was determined; a comparative table of biological and energy value of the new product and analogue dish was given. It has been established that the modified starch, which is added to the kissel recipe, speeds up the cooking process and makes it possible to avoid heat treatment of the product to preserve vitamins that are sensitive to high temperature, and the addition of currant extract and quince candied fruit to the recipe will increase the nutritional value of the finished dish.**



УДК 664.143

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-168-191

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО -МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ТА ПІНОУТВОРЕННЯ ЗЕФІРНИХ МАС З РІЗНИМИ  
СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧАМИ ПРИ ВВЕДЕННІ В  
РЕЦЕПТУРУ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ “МАГНЕТОФУД”**

Цихановська І. В., к. х. н.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

Тел.095-617-59-89

Євлаш В. В., д. т. н.

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

Тел.095-487-05-64,

Лазарева Т. А., д. пед. н.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

Тел.066-748-42-93,

Шингісов А. У., д. т. н.

*Південно-Казахстанський державний університет ім. М. Ауезова*

Тел. (87252)21-19-84

**Анотація** – у статті наведено результати впливу харчової добавки “Магнетофуд” на показники піноутворення збивних кондитерських мас в технології зефіру (піноутворюючої здатності, піностійкості, густини, пластичної міцності, ефективної в’язкості, ступіня взбитості і кінетики об’єму у процесі зберігання). Доведена поверхнева активність наночастинок добавки “Магнетофуд”. Математичним моделюванням встановлені оптимальні показники збивних мас. Визначені перспективи використання добавки “Магнетофуд” для збивних кондитерських мас як стабілізатора та структуроутворювача піноподібних структур.

**Ключові слова** – піноутворення, зефір, збивні кондитерські маси, харчова добавка “Магнетофуд”, поверхнева активність, стабілізатор.

*Постановка проблеми.* Збивні кондитерські вироби (зефір, пастила, цукерки зі збивним корпусом) користуються високим попитом у населення [1–3]. Цінність їх обумовлюється значною часткою повітряної фази, високим ступенем її дисперсності, структурними властивостями. Низькі температурні режими, помірний механічний вплив, наявність пектинових речовин, здатних запобігти окисненню біологічно активних речовин при виробництві збивних кондитерських виробів, дозволяють максимально зберегти корисні

властивості внесених нутрієнтів [4].

В сучасних умовах виробництво і реалізація збивних кондитерських виробів на вітчизняному ринку підпорядковуються жорсткої, і постійно зростаючої конкуренції. У ситуації, що склалася (дефіцит вітчизняної сировини, значна частка імпортних інгредієнтів з високою вартістю та ін.), виробництва зефірної продукції шукають шляхи підвищення конкурентоспроможності готової продукції за рахунок поліпшення і стабілізації якості, зниження собівартості і подовження термінів зберігання збивних кондитерських виробів [2, 3].

У зв'язку з цим активно ведеться робота по використанню нових видів сировини і вдосконаленню технологій, заснованих на застосуванні харчових добавок вітчизняного виробництва мінерального походження, що дозволяють скоротити витрати при одночасному поліпшенні якості і розширенні асортименту збивної кондитерської продукції з подовженим терміном зберігання [5].

Виробництво збивних кондитерських виробів є складним, важким для управління процесом. Розширення й удосконалення їх виробництва вимагає пошуку спрощеної технології: скорочення тривалості технологічних стадій, у тому числі підготовчих операцій і структуроутворення збивних кондитерських виробів, скорочення виробничих площ і енергоресурсів, підвищення стабільності системи і поліпшення якості зефірної продукції [4].

У вирішенні проблем пошуку нових шляхів, сировинних компонентів, технологічних прийомів, розробки інноваційних технологій виробництва кондитерських виробів, що мають пінну або емульсійну структуру, великий внесок внесли роботи А. М. Дорохович, В. Ф. Перцевого, В. І. Оболкіної, Г. А. Магомедової, В. В. Румянцевої, Ю. В. Камбулової, Т. М. Аксьонової, Е. Н. Артемової, Chen Tung-Shan, M. A. Yoslyn, A. Lee, D. Storey та інших вчених. Однак, до сьогоднішнього дня можливість застосування нанопорошкових харчових добавок мінерального походження в якості піно- і структуроутворювача при виробництві збивних кондитерських виробів не розглядали.

“Магнетофуд” – харчова добавка [Патент UA № 126502, МПК А 23L 13/40, А23L 33/10. Харчова добавка “Магнетофуд”] може впливати на процеси структуроутворення желейних мас та піноутворення збивних мас при виробництві збивних кондитерських виробів, а також на показники якості готової продукції. Однак, ці дані відсутні і необхідні додаткові дослідження.

Добавка “Магнетофуд” має певний функціонально-технологічний потенціал та може як самостійно формувати структурно-механічні властивості желейних мас та пінних структур, так і впливати на геле- та піноутворювач, вступаючи з ними в хімічні і електростатичні взаємодії. Тому, харчова добавка “Магнетофуд” може виконувати одразу декілька технологічних функцій в системі:

виконувати роль стабілізатора і структуроутворювача (піно- та драглеутворювача). Хоча харчова добавка “Магнетофуд” не є поверхнево-активною речовиною, вона здатна стабілізувати дисперсні системи (емульсії, суспензії) завдяки її структуруючих і тиксотропних властивостей, перешкоджаючи їх поділу. Зміна текучих властивостей рідкої дисперсної системи в присутності харчової добавки “Магнетофуд” призводить не тільки до стабілізації системи, але і до формування певної консистенції у гелях та пінах. Функціонально-технологічні властивості добавки “Магнетофуд” у харчових системах включають: вологозв’язуючу та вологоутримуючу здатність; стабілізацію емульсій і суспензій; регулювання текучих властивостей; утворення стійких гелів та пін при кімнатній температурі. Тиксотропні властивості гелів та пін з використанням харчової добавки “Магнетофуд” проявляються в оборотних змінах структури гелю та піни при їх деформації і наступному знятті механічного навантаження [6–11].

Таким чином, використання харчової добавки “Магнетофуд” в технологіях зефірної продукції як структуроутворювача і стабілізатора, на наш погляд, дозволить вирішити наступні завдання: поліпшити структурно-механічні показники та споживчі властивості зефірних виробів; ущільнення консистенції, збільшення пористості, надання еластичності і швидкого відновлення своєї форми після легкого натискання; зменшення синерезису при зберіганні продукції.

Тому вивчення впливу харчової добавки “Магнетофуд” на структурно-механічні властивості біло-рожевого зефіру з різними структуроутворювачами, зокрема на процеси піноутворення, є своєчасним і актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Значна частка повітряної фази і, як наслідок, висока пористість зефірних виробів, досягається збиванням яєчного білка до стану стійкої піни. Якість кінцевого продукту в значній мірі визначається якістю білкової піни, тому питання підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка і поліпшення реологічних характеристик піни приділяється підвищена увага [4].

Факторами, що впливають на утворення і стабільність піни яєчного білка, є: курячий і яєчний вік, умови зберігання, швидкість і час збивання, температура, пастеризація, рН, вміст сухих речовин, присутність яєчного жовтка або ліпідів, сіль, цукор, харчові добавки, стабілізатори, поверхнево-активні сполуки, іони металів, протеолітичні ферменти [12–14].

Встановлено, що стабільність піни яєчного білка була найвищою при рН 8,6; найвища піноутворююча здатність – при рН 4,8, а найнижча – при рН 10,7.

Виявлено, що додавання в яєчний білок сахарози, лактози, декстрози і мальтози, а також ксантану, гліцерину, сорбіту або інших

хімічних речовин, які збільшують в'язкість яєчного білка, покращують стабільність піни, але знижують піноутворюючу здатність яєчного білка [12, 13].

Низкою дослідників доведено, що металеві катіони можуть впливати на функціональні характеристики яєчного білка через здатність овотрансферина взаємодіяти з багатьма полівалентними катіонами, включаючи алюміній, мідь, залізо, цинк, утворюючи з ними комплекси з підвищеною термостабільністю. В результаті покращується піноутворююча здатність яєчного білка і підвищується стійкість пінних структур [12, 15]. Овотрансферин міститься в яєчному білку в кількості близько 13% і має кращу піноутворюючу здатність у порівнянні з іншими білковими речовинами яєчного білка. Але його денатурація починається при низькій температурі (53 °C) і навіть м'яка термічна обробка, наприклад пастеризація яєчного білка, може привести до пошкодження його функціональних властивостей. Однак, комплексоутворення овотрансферину з катіонами металів покращує стійкість білка в напрямку термоіндукованої денатурації і протеолізу [16].

Встановлено, що фосфатна і лимонна кислоти також мають спорідненість до овотрансферину. Тому додавання їх солей збільшує температуру денатурації овотрансферина, покращуючи піноутворюючу здатність яєчного білка [17]. При цьому стабільність пінної структури збільшується незначно.

Успішно використовуються тринатрійфосфат, пірофосфат, гексаметафосфат і інші фосфати натрію для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка [17, 18]. Однак, міцність пінної структури недостатня.

Відомо застосування продуктів переробки яєць, зокрема яєчної шкаралупи, в технології збивних кондитерських виробів для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка [19]. При цьому стійкість пінної структури не стабільна.

З метою підвищення здатності піноутворення яєчного білка в нього також додають різні овочеві та фруктові пюре, зокрема пюре фейхоа, ківі, топінамбура і ін. [20–22]. Однак, стійкість пінної структури практично не поліпшувалася і зі збільшенням вмісту фруктового компонента піноутворююча здатність системи знижувалася при одночасно відчутному зменшенні її в'язкості.

Останнім часом з метою підвищення стійкості білкових пін як стабілізатор поверхні розділу фаз повітря-вода широко застосовують бінарні суміші біополімерів, що складаються з білка і одного полісахариду ( $\beta$ -лактоглобулін + аравійська камедь,  $\beta$ -лактоглобулін + пуллулан, ізолят сироваткового білка + аравійська камедь, альбумін яєчного білка + пектин і т. д.) [23, 24]. Бінарні білок-полісахаридні суміші (БПС) формують міцніші міжфазні плівки, ніж просто білковий стабілізатор [25–28].

Для поліпшення піноутворюючої здатності яєчного білка використовують екстракт насіння льону [29]. Позитивний ефект пов'язують з утворенням стійких білково-полісахаридних комплексів між протеїнами яйця і слизу льносемян. Однак, при збільшенні змісті екстракту льносемян більше 50% піноутворююча здатність і стійкість пінної структури дещо знижувалася.

В даний час для стабілізації структурно-механічних властивостей збивних кондитерських виробів, зокрема, для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка, застосовують сировину, отриману з зернових культур (вівса, ячменю, сої) [30, 31], а також харчові добавки рослинного походження: лікарські та пряно-ароматичні трави у вигляді порошків або екстрактів, овочеві та плодово-ягідні порошки [32]. Однак, ці інгредієнти недостатньо підвищують стійкість пінної структури.

Аналіз інформаційних джерел [5, 12–32] показує відсутність даних про піноутворення яєчного білку з використанням нанопорошкових добавок, що поліпшують піноутворюючу здатність яєчного білку та підвищують стабільність пінної структури. Як структуроутворювач та стабілізатор харчових білкових систем нами розроблено та запропоновано харчову добавку “Магнетофуд” [ТУ У 10.8-2023017824-001:2018]. Це ультратонкий порошок з великою питомою і високо активною поверхнею.

У харчових системах “Магнетофуд” проявляє сорбційні, комплексоутворюючі, вологозв'язуючі, вологоутримуючі, жирутримуючі, стабілізуючі, структуруючі властивості [6–11].

У зв'язку з цим актуальним є дослідження піноутворення та структурно-механічних показників зефірних мас з різними структуроутворювачами при введенні в рецептуру харчової добавки “Магнетофуд”.

*Метою роботи* є дослідження піноутворення та структурно-механічних властивостей зефірних мас при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

*Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:*

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на піноутворюючу здатність та піностійкість дослідних зразків яєчного білка;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на ступінь взбитості і кінетику об'єму дослідних зразків збивних мас;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на мікроструктуру та розподіл пухирців повітря за діаметром в дослідних зразках збивних мас;

– дослідити вплив пектину та агару на піноутворюючу здатність та піностійкість у дослідних зразках композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”»;

- дослідити поверхнево-активні властивості компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”»;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на густину дослідних зразків збивних мас від тривалості збивання;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на пластичну міцність дослідних зразків збивних мас в процесі вистойки;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на ефективну в’язкість дослідних зразків збивних мас від градієнта швидкості зсуву;
- провести оптимізацію процесу збивання шляхом експериментального моделювання.

*Основна частина.* У якості базової рецептури зефіру біло-рожевого на агарі і пектині (контроль) було обрано рецептури № 95 та № 126 [33], які наведені в табл. 1. У табл.1 також наведено рецептури з різною масовою часткою харчової добавки “Магнетофуд” (дослід).

Таблиця 1 – Рецептури зефіру біло-рожевого на агарі і пектині (контроль) та з різною масовою часткою харчової добавки “Магнетофуд” (дослід)

Найменування сировини	Витрати сировини на 1 т готової продукції, кг							
	зразки зефіру на агарі				зразки зефіру на пектині			
	№ 1 контроль	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5 контроль	№ 6	№ 7	№ 8
Цукор-пісок	673,0	672,0	671,5	671,0	671,0	670,0	670,5	669,0
Цукрова пудра	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
Патока	139,4	139,4	139,4	139,4	142,9	142,9	142,9	142,9
Пюре яблучне	390,0	390,0	390,0	390,0	298,0	298,0	298,0	298,0
Білок яєчний	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
Агар	8,6	8,6	8,6	8,6	–	–	–	–
Пектин яблучний	–	–	–	–	13,4	13,4	13,4	13,4
Кислота молочна	11,8	11,8	11,8	11,8	8,4	8,4	8,4	8,4
Лактат натрію	–	–	–	–	6,8	6,8	6,8	6,8
Есенції різні	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Барвник червоний	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Харчова добавка “Магнетофуд”	–	1,0	1,5	2,0	–	1,0	1,5	2,0

Дослідні зразки яєчного білка:

- дослідний зразок 9 – контроль – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку [ГОСТ 30363-2013];
- дослідний зразок 10 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,10 % до маси сухого яєчного білка;
- дослідний зразок 11 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного

білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,15 % до маси сухого яєчного білка;

– дослідний зразок 12 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,20 % до маси сухого яєчного білка.

Піноутворюючу здатність яєчного білка та збивних мас визначали за методом Лур’є [34]. Зміну стійкості піни фіксували по осіданню стовпа піни в часі. Поверхнево-активні властивості оцінювали за величиною поверхневого натягу, що визначали за методом Дю-Нуї на тензіометрі Kruss [35]. Кратність піни й об’ємна концентрація повітря в масі визначалися розрахунковим шляхом з урахуванням обсягу піни. У роботі використовували оптичний метод аналізу мікроструктури збивної маси, заснований на обробці зображення, отриманого на просвіт у світлому полі електронного мікроскопа, із застосуванням персонального комп’ютера. Зефірну масу отримували та процес піноутворення вивчали на розробленій експериментальній збивальній установці. Структурно-механічні характеристики збитих зефірних мас досліджували за допомогою стандартних та загально прийнятих методів [35]. Міцність збивних мас досліджували за граничною напругою зсуву – на пенетрометрі AP-4/1; реологічні властивості – визначали на приладі Реотест-2. Оптимізацію процесу збивання здійснювали шляхом експериментального моделювання з метою одержання критеріального рівняння, що описує процес збивання.

На формування структури збивних мас істотно впливає піноутворююча здатність білка (ПЗ), яка залежить як від його концентрації, фракційного складу і будови, так і від температури, присутності солей, сахарози, харчових волокон і ін. [36]. Тому в роботі вивчали вплив харчової добавки “Магнетофуд” на піноутворюючу здатність (ПЗ) та стабільність (стійкість) піни (СП) дослідних зразків яєчного білка (рис. 1 та рис. 2 відповідно).

З даних рис. 1 випливає, що введення в яєчний білок харчової добавки “Магнетофуд” у кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшує ПЗ системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» на (8,3–11,3) %, що пов’язано зі здатністю поляризованих наночастинок (НЧ) харчової добавки “Магнетофуд” зменшувати поверхневий натяг розчину білка і прискорювати коагуляцію білкових молекул, що призводить до збільшення в розчині білка об’ємної концентрації повітряної фази і зменшення розміру бульбашок повітря. При використанні добавки “Магнетофуд” за рахунок амфотерності її наночастинок змінюється активна кислотність системи «білок-НЧ “Магнетофуд”» [8, 11] в бік, близький до ізоелектричної точки білка, в якій проявляється максимальна ПЗ білкових розчинів [36].

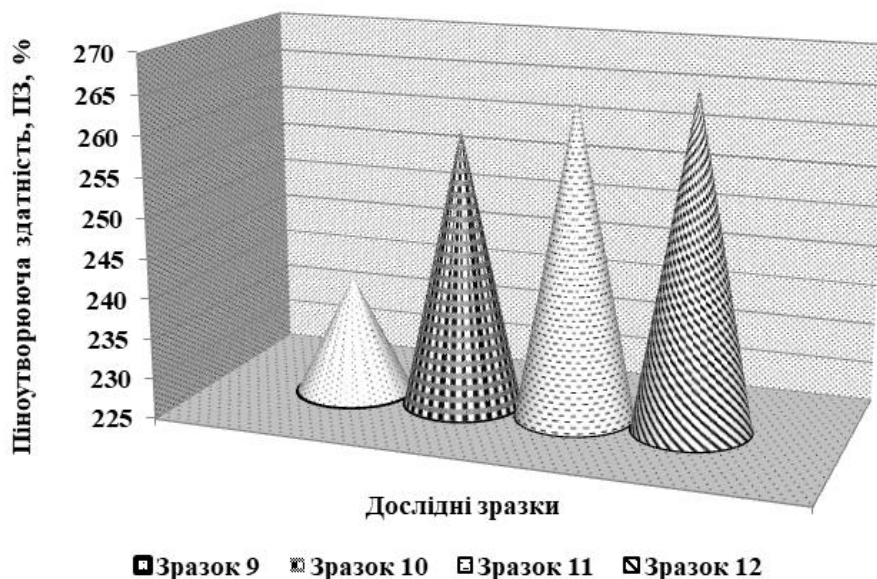


Рис. 1. Піноутворююча здатність яєчного білка ( $t=20\pm 2$  °С, рН=4,8) при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

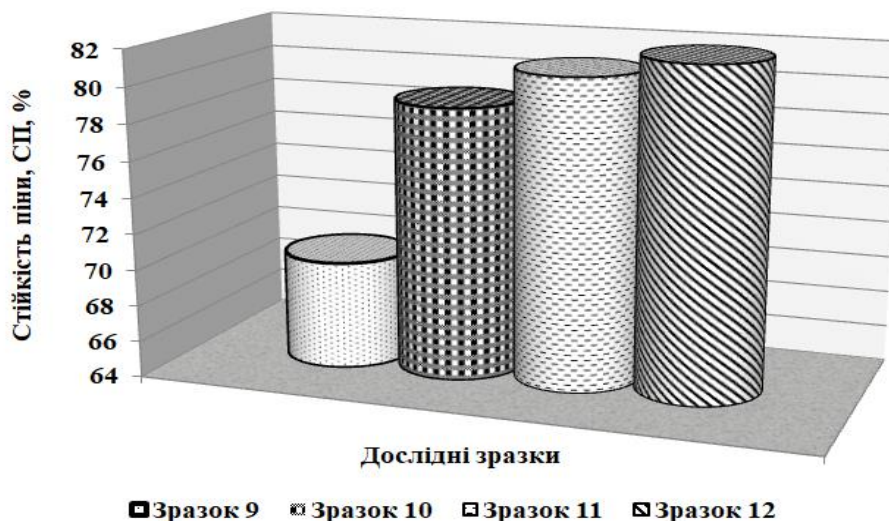


Рис. 2. Стійкість піни яєчного білка ( $t=20\pm 2$  °С, (час витримки зразків  $\tau=30\times 60$  с) при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

Введення в яєчний білок харчової добавки “Магнетофуд” у кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшує СП системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» на (12,6–17,1) % (рис. 2). Що пов’язано з наявністю на поверхні розділу фаз в адсорбційному шарі наночастинок добавки “Магнетофуд” з активною розвиненою поверхнею, які збільшують силу зчеплення між молекулами білка – в результаті рухливість рідини падає, сповільнюється її стікання в плівці, запобігаючи тим самим коалесценцію бульбашок піни [37]; також, збільшується в’язкість рідини в плівках піни, що уповільнює їх руйнування і підвищує стабільність (або стійкість) піни (див. рис. 2).

З урахуванням того, що кислотність середовища значно впливає на електростатичну взаємодію і властивості білкових



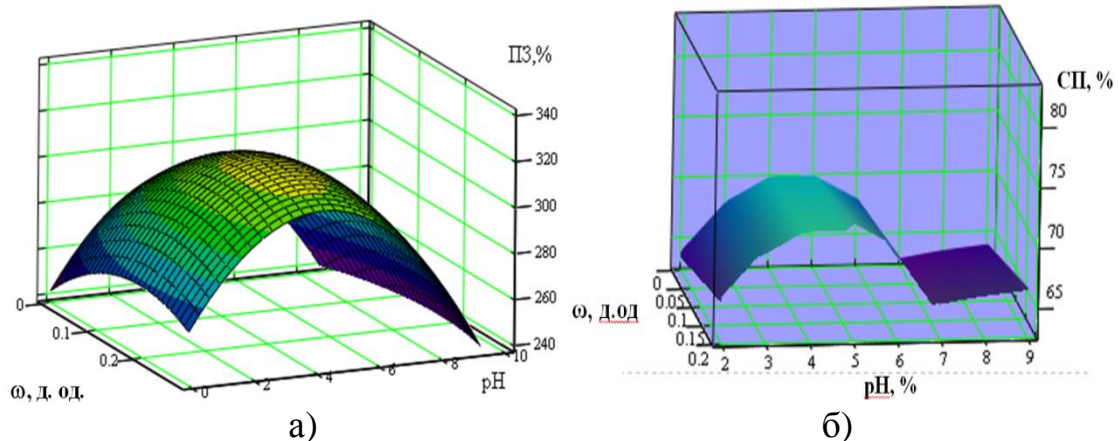
молекул, далі досліджено вплив рН середовища на піноутворюючу здатність яєчного білка в дослідних зразках 9–12. Картина залежності піноутворюючої здатності (ПЗ) і стабільності піни (СП) системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» у дослідних зразках 9–12 від значень рН встановлювалася із застосуванням елементів статистичної обробки даних. В результаті отримані рівняння регресії (1) і (2), які адекватно описують взаємозв'язок між піноутворювальними властивостями і рН середовища при різній масовій частці харчової добавки “Магнетофуд”:

$$\text{ПЗ} = 166.7778 + 406.6667x + 57.0556y - 0,306xy - 1200x^2 - 6.0556y^2, \quad (1)$$

$$\text{СП} = 64.3523 + 145.5146x + 1.6189y + 2.4864xy - 517.6136x^2 - 0.1963y^2, \quad (2)$$

де  $x$  – рН;  $y$  – масова частка харчової добавки “Магнетофуд”, д. од.

З графічних зображень залежностей ПЗ (рис. 3, а) і СП (рис. 3, б) від значень рН середовища видно, що для 100% яєчного білка (зразок 10 – контроль) величини ПЗ і СП при значеннях рН від 2 до 9 змінювалися на 22,6% і на 5,6% відповідно, тоді як в системі «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» (зразки 10–12) зі збільшенням масової частки добавки “Магнетофуд” ці показники змінювалися в середньому на 19,8% і на 3,1% відповідно. Тобто, при введенні добавки “Магнетофуд” вплив рН на піноутворюючі властивості яєчного білка менш значний, що пов'язано зі стабілізуючою дією харчової добавки “Магнетофуд”.



а) – піноутворюючу здатність (ПЗ); б) – стабільність піни (СП).

Рис. 3. Залежність піноутворюючих властивостей дослідних зразків композиції «яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”» від рН середовища і масової частки харчової добавки “Магнетофуд”,  $\omega$ , %.

З рис. 3 випливає, що стабільність піни (СП) і піноутворююча здатність (ПЗ) яєчного білка в дослідних зразках 9–12 були максимальними при рН = 5,0; в області значень рН близько 7 обидва ці показники різко знижувалися, а при рН понад 7 злегка збільшувалися.

Стабільність піни композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» підвищувалася зі збільшенням масової частки добавки “Магнетофуд”. Найстабільнішою піна утворювалася при  $pH = 4,806$  масовій частці “Магнетофуд” 0,155 % до маси сухого яєчного білка. Мабуть, саме в кислому середовищі молекули яєчного білка набували конформацію, яка найбільшою мірою сприяла максимальному прояву поверхнево-активних властивостей, необхідних для утворення стійкої піни. Таким чином, оптимальні значення для піноутворюючої здатності (ПЗ): вміст харчової добавки “Магнетофуд” –  $\omega = 0,161$ ;  $pH = 4,904$ ; для стабільності піни (СП) –  $\omega = 0,159$ ;  $pH = 4,896$ .

Ступінь взбитості і кінетика об’єму збивної маси протягом зберігання являються важливими технологічними властивостями зефірних мас. Релаксація величини в’язкості відбувається за 1,2·60 с, що характерно для піноподібних систем. Встановлено, що як контрольні зразки (1, 5), так і дослідні збільшували свій об’єм однаково. Результати дослідження впливу харчової добавки “Магнетофуд” на кінетику об’єму дослідних зразків зефірних мас протягом 90 діб зберігання показані в табл. 2.

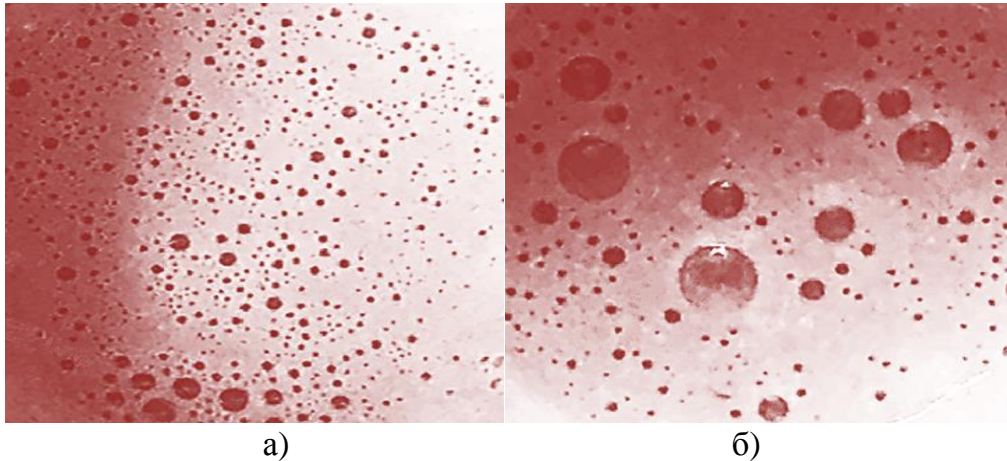
Таблиця 2 – Кінетика об’єму дослідних зразків зефірних мас при зберіганні

Тер- мін збері- гання доба	Об’єм дослідних зразків зефірних мас, см <sup>3</sup>							
	Зразок 1 (конт- роль)	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5 (конт- роль)	Зразок 6	Зразок 7	Зразок 8
0	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8
10	81,7±0,8	90,8±0,8	98,2±0,8	98,6±0,8	80,4±0,8	89,6±0,8	97,2±0,8	97,6±0,8
40	76,4±0,8	86,4±0,8	93,6±0,8	94,0±0,8	75,2±0,8	85,4±0,8	92,8±0,8	93,4±0,8
60	68,2±0,8	79,0±0,8	86,8±0,8	87,0±0,8	67,0±0,8	78,2±0,8	85,6±0,8	86,2±0,8
90	67,2±0,8	74,5±0,8	84,0±0,8	84,2±0,8	66,8±0,8	73,0±0,8	82,6±0,8	83,0±0,8

Експериментальні дані (табл. 2) показують, що при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20)% до маси сировини спостерігається ефект стабілізації структури дослідних зразків зефірних мас. Це пов’язано зі структуруючою, стабілізуючою і вологоутримуючою дією наночастинок добавки “Магнетофуд”, що сприяє піноутворенню і фіксації пухирців повітря в системі.

Оскільки піноподібні системи, до яких відносять дослідні зразки зефірних мас, характеризуються такими показниками як розмір і концентрація повітряних пухирців в системі, проведено дослідження і ідентифікація дослідних зразків збивних мас: за розміром, кількістю повітряних пухирців і розподілом їх по радіусах.

Результати мікроскопічних досліджень представлені на рис. 4.



а) – зразок 3 – з добавкої “Магнетофуд”, б) – зразок 1 – без добавки “Магнетофуд”.

Рис. 4. Мікрофотографії дослідних зразків збивних мас.

На мікрофотографіях (рис. 4 а, б) видно, що в даних мікроструктурах повітряні пухирці ідентифікуються у вигляді ідеально сферичних форм, які розподілені за об’ємом. Причому, введення харчової добавки “Магнетофуд” сприяє утворенню більш дрібних повітряних пухирців і більш рівномірному розподілу їх по всьому об’єму збивної маси (зразок 3, рис. 4, б) в порівнянні з контролем (зразок 1, рис. 4, а). Ідентифікація пухирців повітря допомогла визначити їх розміри і кількість. Результати розподілу пухирців повітря за діаметром показані на рис. 5.

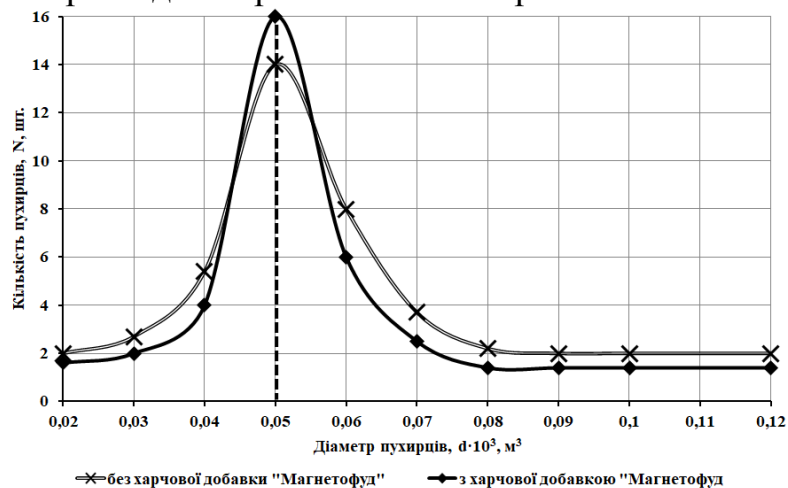


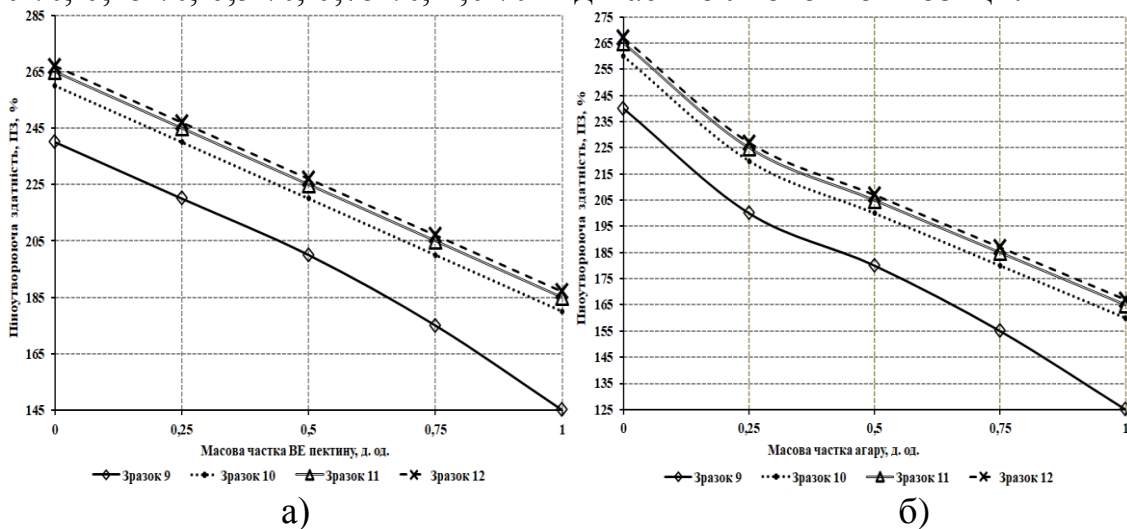
Рис. 5. Розподіл повітряних пухирців за діаметром у дослідних зразках збивних мас.

З рис. 5 видно, що максимальна кількість повітряних пухирців має діаметр  $r = 0,05$  мм і становить 16 одиниць (з 46 одиниць). Питома густина частинок становить  $26 \cdot 10^6$  штук в  $1 \text{ м}^2$  площині дослідження. Також видно, що введення харчової добавки “Магнетофуд” сприяє більш вузькому розподілу пухирців повітря за діаметром у порівнянні з контрольним зразком.

Узагальнюючи дані по стабільності піни і розподілу пухирців повітря за діаметром можна відзначити, що функціональність харчової добавки “Магнетофуд”, в цьому випадку, відбивається в першу чергу на зниженні поверхневого натягу. Руйнування пін обумовлено процесами дифузії повітря, стиканням рідини із стінок пухирців (в’язкістю рідини) і укрупненням пухирців через злиття. Досить вузький пік, як для контрольного, так і для дослідного зразка з добавкою “Магнетофуд” вказує на рівномірну збитість зефірної маси. Однак, через більшу в’язкість і меншим за величиною поверхневим натягом, піностійкість в дослідному зразку з добавкою “Магнетофуд” вища.

Таким чином, введення харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,15 % від маси рецептурної суміші стабілізує пінну структуру зефірних мас, в тому числі протягом встановлених регламентом термінів зберігання.

На рис. 6 наведено вплив гелеутворювачів (ВЕ пектину та агару) на піноутворюючу здатність (ПЗ) у дослідних зразках (9–12) композиції «ячний білок-НЧ“Магнетофуд”» з різною кількістю: 0 %; 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % від маси білкової композиції.

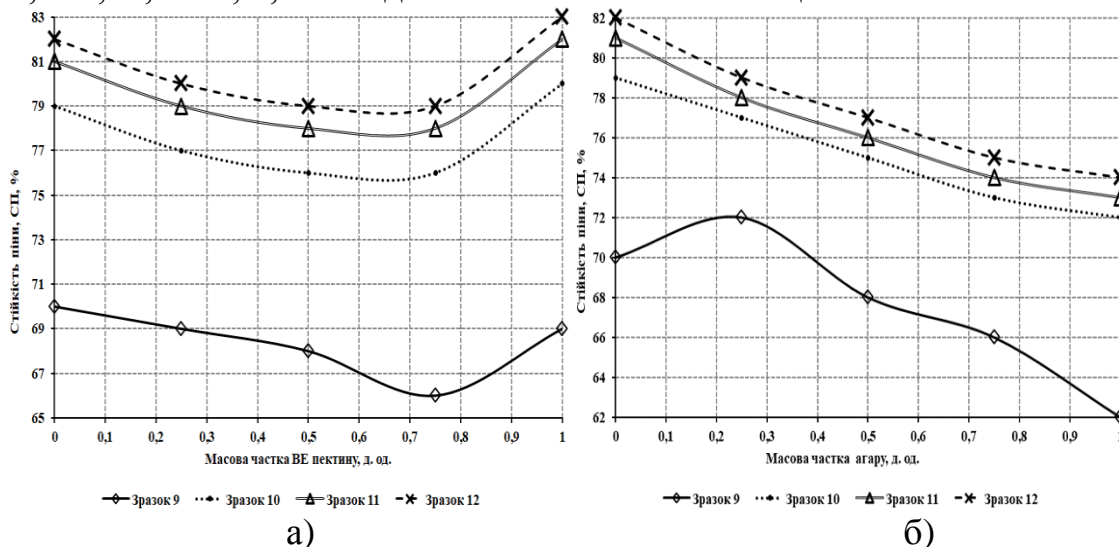


а) – з ВЕ пектином; б) – з агаром.

Рис. 6. Залежність піноутворюючої здатності від кількості гелеутворювача дослідних зразків композиції «ячний білок-НЧ "Магнетофуд"».

З експериментальних даних (рис. 6) випливає, що присутність гелеутворювачів зі збільшенням їх дозувань від 0,25 % до 1,0 % від маси білкової композиції знижує ПЗ у дослідних зразках системи «ячний білок-НЧ“Магнетофуд”» з (260–267)% до (180–187)% – на пектині й до (160–167)% – на агарі. Причому, ПЗ в дослідних зразках на пектині була більше в середньому на 20% у порівнянні з дослідними зразками на агарі.

На рис. 7 наведено вплив гелеутворювачів (ВЕ пектину та агару) на стійкість піни (СП) у дослідних зразках (9–12) композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» з різною кількістю: 0 %; 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % від маси білкової композиції.



а) – з ВЕ пектином; б) – з агаром.

Рис. 7. Залежність стійкості піни від кількості гелеутворювача дослідних зразків композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”».

З даних (рис. 7) очевидно, що під впливом гелеутворювачів: ВЕ пектину і агару виявлено зниження стійкості піни (СП) у дослідних зразках білково-магнетофудової системи: на пектині – з (79–82) % до (76–79) % з подальшим зростанням до (80–83)%; на агарі – з (79–82) % до (72–74)% і подальшого поліпшення показника (СП) не спостерігалось. При цьому, СП в дослідних зразках на ВЕ пектині була більше в середньому на 12% у порівнянні з дослідними зразками на агарі.

Аналіз ПЗ і СП (рис. 6 і рис. 7) показує, що гелеутворювачі (ВЕ пектин та агар) негативно впливають на ПЗ і СП у дослідних зразках яєчного білка (9–12), а введення в систему “геле-піноутворювач” наночастинок харчової добавки “Магнетофуд” сприяє збільшенню піноутворюючої здатності і стабільності піни яєчного білка. Позитивний вплив харчової добавки “Магнетофуд” пов’язано зі зміною активної кислотності розчину яєчного білка в сторону, близьку до ізоелектричної точки білка, в якій проявляється максимальна ПЗ білкових розчинів; а також з наявністю на поверхні розділу фаз в адсорбційному шарі наночастинок добавки “Магнетофуд”, які володіють розвиненою активною поверхнею і здатністю збільшувати силу зчеплення між молекулами, що приводить до зниження рухливості рідини і уповільнення її стікання в плівці, запобігаючи тим самим коалесценцію пухирців піни. Кращі

результати виходять при вмісту добавки “Магнетофуд” в кількості 0,15 % до маси сухого яєчного білка (зразок 11).

Для теоретичного обґрунтування взаємодії компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”» вивчали їх поверхнево-активні властивості методом поверхневого натягу в розчинниках, що розривають водневі (вода), іонні (0,05 н розчин NaCl) і гідрофобні взаємодії (70 %-й етанол, 1 %-й ДДС-Na). Результати досліджень представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Поверхневий натяг розчинів компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”»

Склад композиції	Поверхневий натяг, mN/m			
	Розчинник			
	H <sub>2</sub> O	0,05н NaCl	70% етанол	1% ДДС-Na
Розчинник	72,8±0,1	74,0 ±0,2	28,9 ±0,2	39,0 ±0,1
Харчова добавка “Магнетофуд” (ХДМ)	65,0 ±0,1	63,0 ±0,2	28,7 ±0,3	38,5 ±0,2
ВЕ пектин	55,0 ±0,2	58,0 ±0,3	29,0 ±0,2	36,7 ±0,1
Агар	61,0 ±0,1	55,0 ±0,2	29,0 ±0,1	35,0 ±0,3
ХДМ + ВЕ пектин	57,5 ±0,1	59,8 ±0,2	29,0 ±0,3	37,0 ±0,2
ХДМ + агар	62,8 ±0,1	57,5 ±0,3	28,7 ±0,2	34,0 ±0,2
Яєчний альбумін (ЯА)	51,0 ±0,2	48,0 ±0,3	28,8 ±0,3	35,0 ±0,2
Яєчний альбумін + ХДМ	53,0 ±0,2	50,5 ±0,2	28,5 ±0,2	34,0 ±0,2
ЯА + ХДМ + ВЕ пектин	58,0 ±0,2	60,0 ±0,2	29,7 ±0,3	36,8 ±0,2
ЯА + ХДМ + агар	53,5 ±0,2	51,0 ±0,3	29,3 ±0,2	35,6 ±0,2

Аналіз величин поверхневого натягу (табл. 3) показав, що при додаванні харчової добавки “Магнетофуд” в H<sub>2</sub>O і в 0,05н NaCl величина поверхневого натягу колоїдного розчину знижувалася на 10,7 % та 14,9 % відповідно у порівнянні з вихідними розчинниками. Це вказувало на реакційний потенціал розвиненої поверхні наночастинок харчової добавки “Магнетофуд”. ВЕ пектин, агар і яєчний альбумін також знижували поверхневий натяг розчинів, що свідчило про наявність у них поверхнево-активних властивостей.

При додаванні харчової добавки “Магнетофуд” в 70% етанол і в 1% ДДС-Na величина поверхневого натягу колоїдного розчину знижувалася значно менше, ніж у воді або розчині солі, – всього лише на 0,7 % та 1,3 % відповідно у порівнянні з вихідними розчинниками. Отже, гідрофобні властивості у харчової добавки “Магнетофуд” виражені менш яскраво, ніж гідрофільні.

В цілому ж, добавка “Магнетофуд” менш поверхнево активна: на (11–13) %, ніж ВЕ пектин; на (6–10) %, ніж агар і на (19–25)%, ніж яєчний альбумін. До водневих і іонних взаємодій більш схильні: ВЕ пектин і яєчний альбумін; до гідрофобних взаємодій – агар і яєчний альбумін.

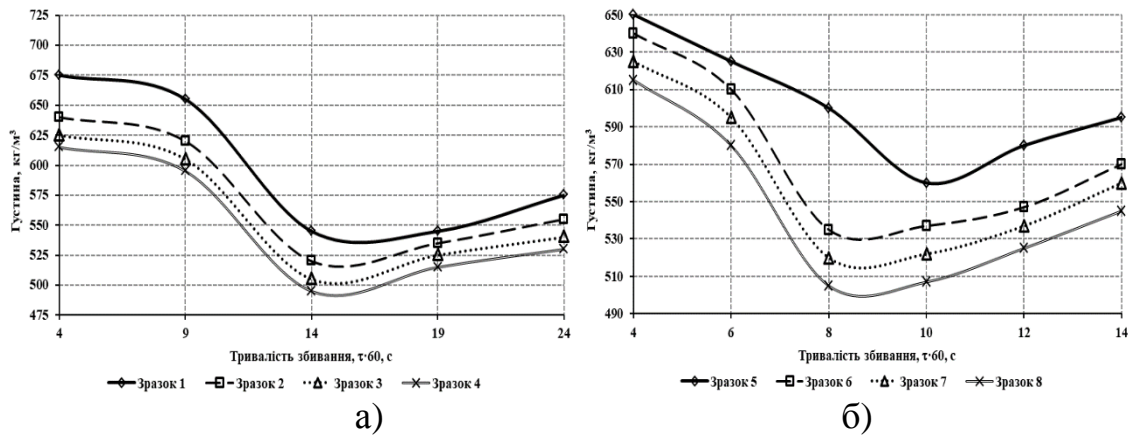
Поверхневий натяг в композиціях «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» як у водних, так і сольових розчинах наближався до поверхневого натягу одного гідроколоїду (ВЕ пектину або агару), різниця в значеннях становила (3,0–4,5) %, що вказувало на взаємодію між наночастинками добавки “Магнетофуд” і полісахаридом за рахунок нековалентних зв’язків і переважна роль при цьому у полісахарида. Аналогічна динаміка спостерігалася і в композиції «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”».

В комплексних системах «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» в 70 %-ому розчині етанолу поверхневий натяг практично однаковий з натягом відповідних полісахаридів або яєчного альбуміну; а в 1%-ому розчині ДДС-На поверхневий натяг понизився: на 2,9 % – в композиціях «агар-НЧ-“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”». Отже, в цих комплексних системах харчової добавки “Магнетофуд” з гідроколоїдами і яєчним альбуміном гідрофобні властивості добавки “Магнетофуд” менш виражені, ніж гідроколоїдів і альбуміну. Це знову свідчить про те, що в композиціях «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» гідрофобні взаємодії менш значні, ніж гідрофільні – за рахунок водневих і іонних зв’язків.

У комплексних системах «яєчний альбумін-гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» поверхневий натяг в воді і сольовому розчині підвищувався у порівнянні з композицією «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» на 1,0 %; в 70 %-ому розчині етанолу – на (3–4) % і в 1 %-ому розчині ДДС-На – на (4,7–8,2) %. Таким чином, порівняння закономірностей зміни поверхневого натягу (див. табл. 3) і піноутворюючої здатності яєчного білка під впливом полісахаридів (пектину і агару) (див. рис. 6 і рис. 7) вказує на те, що погіршення функціональної властивості (ПЗ) обумовлено руйнуванням гідрофобних, іонних і водневих зв’язків. При цьому, введення добавки “Магнетофуд” уповільнює процеси руйнування електростатичних взаємодій, сприяючи формуванню нових зв’язків і стабілізуючи пінну структуру.

Ступінь насичення збивної маси повітрям можна охарактеризувати густиною. Тому при визначенні тривалості механічної дії на процес піноутворення збивних мас основним критерієм оцінки служило досягнення найменшої густини [4].

На рис. 8 наведено вплив харчової добавки “Магнетофуд” на густину дослідних зразків збивних мас від тривалості збивання.



а) – на агарі; б) – на пектині.

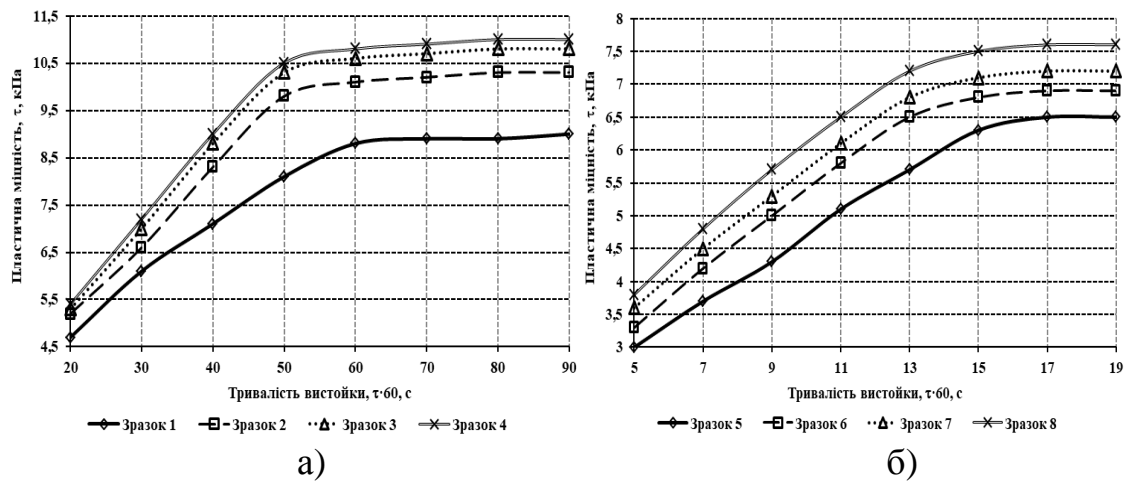
Рис. 8. Залежність густини від тривалості збивання дослідних зразків збивних мас.

У початковий період збивання (рис. 8) одночасно протікають процеси утворення і розподілу бульбашок, система інтенсивно насичується повітрям. Це проводить до різкого збільшення об’ємної концентрації повітря і зниження густини маси. З експериментальних даних (рис. 8, а, б) видно, що найменше значення густини дослідні зразки на агарі (зразки 1–4) досягають через 16–20 хвилин, а на пектині (зразки 5–8) – через 8–12 хвилин. Введення харчової добавки “Магнетофуд” зменшує величину найменшого значення густини: на  $(35\text{--}60)$   $\text{кг}/\text{м}^3$  для агару, на  $(40\text{--}55)$   $\text{кг}/\text{м}^3$  для пектину і тривалість збивання – на  $(1\text{--}2)$  хвилини. Поверхнево-активні наночастинки “Магнетофуд”, що володіють комплексоутворюючими і структуруючими властивостями сприяють розгалуженню головних ланцюгів макромолекул яєчного білка в дисперсійному середовищі, сповільнюючи процес витікання рідини і тоншення стінок повітряних пухирців, в результаті чого густина дослідних зразків збивних мас зменшується в порівнянні з контрольними зразками. Подальше збивання призводить до руйнування піни і зменшення її об’єму. Ймовірно, це відбувається через поверхневу денатурацію яєчного білка в результаті абсорбції поверхневої енергії, яка аналогічна теплової денатурації і незворотна [4]. При цьому плівка навколо пухирців втрачає механічну міцність, і відбувається руйнування пористої структури [4].

Після формування збивної маси відбувається поступове фіксування каркасу, так як рідкі плівки, що розділяють бульбашки повітря, містять драглеутворювач, який забезпечує процес переходу маси в драглистоподібний стан. На рис. 9 представлені результати



досліджень впливу харчової добавки “Магнетофуд” на пластичну міцність дослідних зразків зефірних мас в процесі вистойки.



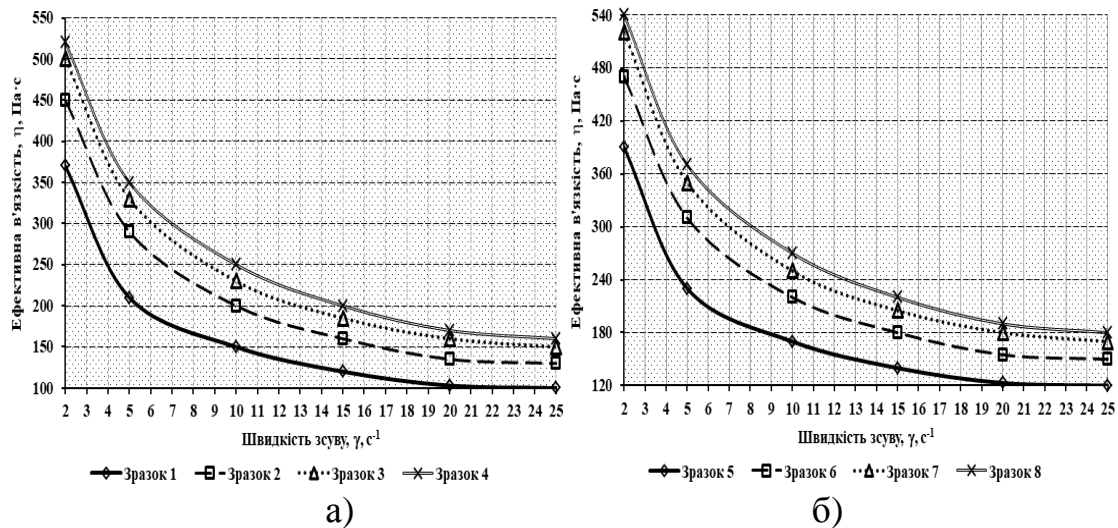
а) – на агарі; б) – на пектині.

Рис. 9. Залежність пластичної міцності від тривалості вистойки дослідних зразків збивних мас.

З експериментальних даних (рис. 9 а, б) випливає, що введення харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини прискорює процес драгле утворення на (5–7) хвилини на агарі і на (2–3) хвилини – на пектині; збільшує максимальне напруження зсуву на (0,5–2,1) кПа – на агарі і на (0,8–1,5) кПа – на пектині. Що пов’язано з високою відозв’язуючої і водоутримуючої здатністю наночастинок “Магнетофуд”, що разом з комплексоутворюючою і структуруючою дією сприяє асоціації та агрегуванню молекул драглеутворювача – в результаті процес драглеутворення прискорюється і міцність збивної маси збільшується.

Порівнюючи експериментальні дані (рис. 9 а, б) з раніше отриманими бачимо, що для збивного шару, в порівнянні з желейним, спостерігається деяке скорочення тривалості вистойки. Це, ймовірно, обумовлено тим, що гелеутворення відбувається в тонкому шарі плівки, яка відчуває надмірний тиск, що існує в повітряних пухирцях, сприяючи зближенню агрегативних частинок системи з подальшим утворенням коагуляційних зв’язків в місцях зіткнення останніх [4].

Крім граничного напруження зсуву, до найбільш важливих реологічних характеристик збитих мас відноситься їх в’язкість, яка є характеристикою рівноважного стану між процесами руйнування і відновлення. Зміна її викликає зміну коагуляційно-кристалізаційної структури піни, тим самим впливаючи на якість маси. На рис. 10 наведені результати досліджень впливу харчової добавки “Магнетофуд” на ефективну в’язкість дослідних зразків зефірних мас від градієнта швидкості зсуву.



а) – на агарі; б) – на пектині.

Рис. 10. Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву дослідних зразків збивних мас.

З експериментальних даних (рис. 10, а, б) видно, що з насиченням дослідних зразків збитих мас повітрям при їх збиванні відбувається підвищення їх в'язкості. Реологічні криві свідчать про їх псевдопластичність, так як зі збільшенням градієнта швидкості зсуву в'язкість знижується. При малих швидкостях зсуву збиті маси володіють плинністю і здатністю до відновлення. Зі збільшенням швидкості деформації в діапазоні  $(1,5-8,1) s^{-1}$  відбувається зниження в'язкості, ймовірно, за рахунок деформації кулястих пухирців повітря в еліпсоїдні [4, 37]. При швидкості зсуву, що перевищує  $8,1 s^{-1}$ , інтенсивність зниження в'язкості збитих мас порівняно мала, тобто в'язкість практично перестає залежати від швидкості зсуву. Для цих ділянок характерно поступово зростаюче число зруйнованих повітряних бульбашок. Горизонтальні ділянки кривих відповідають в'язкості маси з повністю зруйнованою структурою [37]. Слід зазначити, що введення в рецептурний склад харчової добавки "Магнетофуд" в кількості  $(0,10-0,20) \%$  до маси сировини сприяє збільшенню ефективної в'язкості зефірної маси в середньому на  $(60-150) Pa\cdot s$  як на агарі, так і на пектині. Збільшення в'язкості пов'язано зі структуруючою дією наночастинок добавки "Магнетофуд", що призводить до агрегації полісахаридів і підвищенню шорсткості їх каналів, в результаті чого зростає стійкість пінних плівок, а підвищення драглеутворюючої здатності пектину і агару дозволяє підвищити в'язкість в каналах Гіббса-Плато, що уповільнює процес синерезиса [4, 37]. Крім цього, під впливом наночастинок "Магнетофуд" структурується і яєчний білок, підвищуючи стійкість зефірної маси до механічного впливу.

*Висновки.* Отримані результати підтверджують гіпотезу стабілізації пінної структури зефірних мас із застосуванням харчової добавки “Магнетофуд”:

– у всіх дослідних зразків яєчного білка при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшується піноутворююча здатність (ПЗ) на (8,3–11,3) %; стійкість піни (СП) – на (12,6–17,1) % у порівнянні з контролем;

– при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20)% до маси сировини спостерігається ефект стабілізації структури дослідних зразків зефірних мас: протягом регламентованого терміну зберігання (90 днів) повільніше зменшується об’єм збивної структури – на 7,85% в зразках на пектині й на 11% – на агарі у порівнянні з контролем;

– мікроскопічними дослідженнями доведено, що введення харчової добавки “Магнетофуд” у дослідні зразки збивних мас сприяє більш вузькому розподілу пухирців повітря за діаметром у порівнянні з контролем;

– у всіх дослідних зразків збивних мас при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини збільшується в середньому: ПЗ – на (15–20) % ; СП – на (14–19) %; й ефективна в’язкість – на (60–150) Па·с у порівнянні з контролем;

– при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини: зменшується величина найменшого значення густини – на (35–60) кг/м<sup>3</sup> в зразках на агарі, на (40–55) кг/м<sup>3</sup> – на пектині й тривалість збивання – на (1–2) хвилини; прискорюється процес драглеутворення на (5–7) хвилин – в зразках на агарі і на (2–3) хвилини – на пектині; збільшується максимальне напруження зсуву на (0,5–2,1) кПа – на агарі і на (0,8–1,5) кПа – на пектині у порівнянні з контролем;

– встановлено зменшення величини поверхневого натягу водних, сольових і 1 % ДДС-На колоїдних розчинів харчової добавки “Магнетофуд” на 10,7 %; 14,9 % і 1,3 % відповідно в порівнянні з поверхневим натягом вихідних розчинників;

– методом математичного моделювання експериментальних даних по піноутворенню у дослідних зразках яєчного білка встановлено оптимальні значення для піноутворюючої здатності (ПЗ): вміст харчової добавки “Магнетофуд” –  $\omega = 0,161$ ; рН = 4,904; для стабільності піни (СП) –  $\omega = 0,159$ ; рН = 4,896.

Отримані результати дають підставу рекомендувати харчову добавку “Магнетофуд” в якості стабілізатора та структуроутворювача зефірних мас.

## Література:

1. *Кожанов Ю. Г.* Рынок кондитерских изделий // Продукты & ингредиенты. 2007. № 5. С. 28-31.
2. Сегмент пастило-мармеладных изделий и восточных сладостей: кто определяет тенденции / сост. С. Коптева [и др.]. URL: <http://my-ki.ru/articles.php> (дата звернення 30.08.2019).
3. *Стасіневич С. А., Валявський С. М.* Ринок кондитерських виробів України: пропозиція і попит // Продукты & ингредиенты, 2013. № 1. С. 14-17.
4. *Драгилев А. И., Лурье А. И.* Технология кондитерских изделий. Москва: ДеЛи-принт, 2001. 483 с.
5. *Сарафанова Л. А.* Применение пищевых добавок в кондитерской промышленности. Санкт-Петербург: Профессия, 2005. 304 с.
6. Investigation of magnetite nanoparticles of lipid-magnetite suspensions by methods of photometry and electron microscopy / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2016. Vol. 6/3, № 81. P. 28–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.69826.
7. Production technology and quality indices of a food additive based on magnetite / N. G. Ilyukha [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2010. Vol. 6, № 48. P. 32-35.
8. Development of technology of rye-wheat bread "Kharkiv Rodnichok" with the addition of a multifunctional nutritional supplement "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2017. Vol. 6/11, № 90. P. 48-58. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.117279.
9. Substantiation of the interaction mechanism between the lipo- and glucoproteids of rye-wheat flour and nanoparticles of the food additive "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2018. Vol. 4/11, № 94. P. 61-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140048.
10. Substantiation of the mechanism of interaction of carbohydrates of rye-wheat flour and nanoparticles of the polyfunctional food additive "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2018. Vol. 3/11, № 93. P. 59-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133373.
11. Formation of the functional and technological properties of the beef minced meat by using the food additive on the nanopowder basis of double oxide of two- and trivalent iron / I. V. Tsykhanovska [et al.] // Ukrainian food journal. 2018. Vol. 7, № 3. С. 379-396. DOI:10.24263/2304-974X-2018-7-3-4.
12. *Bovšková H., Míková K.* Factors Influencing Egg White Foam Quality // Czech J. Food Sci. 2011. Vol. 29, № 4. P. 322-327.

13. *Hata, H., Hagi, T., Horano, K.* Hen Eggs. Their Basic and Applied Science. CRC Press. Boca Raton, 1997. P. 117–134.

14. *Hammershøj M., Qvist K. B.* Importance of hen age and egg storage time for egg albumen roaming // *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 2001. Vol. 34. P.118-120.

15. Metallic cations affect functional performance of spray-dried heat treated egg white / O. J. Cotterill [et al.] // *Journal of Food Science*. 1992. Vol. 57. P. 1321-1322, 1347.

16. *Mennicken L., Waterloh B.* Chemistry of egg white // *Proceedings VIIth European Symposium on the Quality of Egg and Egg Products*. Poznan, 1997. P. 145–157.

17. *Nakamura R., Umemura O., Takemoto H.* Effect of heating on the functional properties of ovotransferrin // *Agricultural and Biological Chemistry*. 1979. Vol. 43. P. 325.

18. Salmonella, Campylobacter and Escherichia coli 0157: H7 decontamination techniques for the future / J. E. L. Corry [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. 1995. Vol. 28. P.187-196.

19. *Саломатов А. С., Саломатова А. С.* Исследование пенообразующей способности порошка яичной скорлупы // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2013. Т. 1, № 2. С. 30-33.

20. *Киласония К. Г.* Использование пюре фейхоа и киви для получения сбивных кондитерских изделий // *Пищевая промышленность*. 2004. № 12. С. 79.

21. *Киласония К. Г.* Фейхоа и киви – новое сырье для кондитерского производства // *Вестник с/х наук. Тбилиси*, 2002. № 9. С. 25-29.

22. *Иоргачева Е. Г.* Пюре из топинамбура – рецептурный ингредиент кондитерских изделий // *Збірник наукових праць ОДАХТ. Одеса*, 2002. Вип. 23. С. 120-124.

23. Design and characterization of soluble biopolymer complexes produced by electrostatic self-assembly of a whey protein isolate and sodium alginate / S. A. Fioramonti [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2013. Vol. 5. P. 1–8.

24. Evaluation of volatile characteristics in whey protein isolatepectin mixed layer emulsions under different environmental conditions / L. Mao [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 41. P. 79-85.

25. *Maldonado-Valderrama J., Rodríguez Patino J. M.* Interfacial rheology of protein-surfactant mixtures // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2010. Vol. 15. P. 271-282.

26. *Heertje I.* Structure and function of food products: A review // *Food structure*. 2014. Vol. 1. P. 3-23.

27. Stabilization of foams and emulsions by mixtures of surface active food-grade particles and proteins / B. S. Murray [et al.] // Food Hydrocolloids. 2011. Vol. 25. P. 627-638.

28. Белок-полисахаридные смеси – альтернатива белкам яйца и молока в технологии получения крема эмульсионно-пенной структуры / В. А. Васькина и др. // Кондитерское производство. 2015. № 3. С. 26-30.

29. Пащенко Л. П., Коваль Л. А., Пащенко В. Л. Применение семян масличного льна в кондитерских изделиях // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 6. С. 95-96.

30. Румянцева В. В., Ковач Н. М., Гурова А. Ю. Применение нетрадиционного сырья при производстве пастильных масс // Известия Вузов. Пищевая технология. 2009. № 4. С. 10-12.

31. Капрельяниц Л. В., Иоргачева Е. Г., Банова С. И. Модифицированные соепродукты с улучшенными пенообразующими и эмульгирующими свойствами // Зернові продукти і комбікорми. 2002. № 2. С. 23-25.

32. Смолихина П. М., Мусик А. И. Обоснование использования растительного сырья в технологии пастильных изделий. Тамбов, 2013. С. 125–128.

33. Иванушко Л. С. Рецептуры на мармелад, пастилу и зефир. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 208 с.

34. Кафка Б. Ф., Лурье И. С. Техно-химический контроль кондитерского производства. Москва: Пищевая промышленность, 1967. 282 с.

35. Максимов А. С., Черных В. Я. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств. Москва: МГУПП, 2004. 162 с.

36. Зубченко А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. Воронеж, 2001. 389 с.

37. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография / Ф. В. Перцевой и др. Днепропетровск: Пороги, 2003. 204 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПЕНООБРАЗОВАНИЯ ЗЕФИРНЫХ МАСС  
С РАЗЛИЧНЫМИ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛИ  
ПРИ ВВЕДЕНИИ В РЕЦЕПТУРУ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ  
"МАГНЕТОФУД"**

Цихановская И. В., Евлаш В. В., Лазарева Т. А., Шингисов А. У.

*Аннотация* – в статье приведены результаты влияния пищевой добавки “Магнетофуд” на показатели пенообразования збивных кондитерских масс в технологии зефира. Доказана поверхностная активность наночастиц добавки “Магнетофуд”. Математическим моделированием установлены оптимальные показатели збивных масс. Определены перспективы использования добавки “Магнетофуд” для збивных кондитерских масс в качестве стабилизатора и структурообразователя пеноподобных структур.

**RESEARCH OF STRUCTURAL-MECHANICAL INDICATORS  
AND FOUNDATION OF ZEPHIC MASTS WITH DIFFERENT  
STRUCTURAL MAKERS AT THE INTRODUCTION OF THE  
FOOD ADDITIVE RECEPTURE “MAGNETOFOOD”**

I. Tsykhanovska, V. Evlash, T. Lazareva, A. Shingisov

*Summary*

One of the topical problems of the modern food industry is the development of resource and energy-saving technologies for the production of high quality whipped confectionery products with an extended shelf-life. The prospective use of mineral resources, in particular the food additive "Magnetofood", which forms new functional and technological properties of whipped masses. The aim of the research is to improve the structural and mechanical properties of marshmallows by introducing the "Magnetofood" nutritional supplement.

The nutritional supplement "Magnetofood" has a definite functional and technological potential and can independently form the structural and mechanical properties of the jelly masses and foam structures, as well as influence the gel and foaming agent, entering into them into chemical and electrostatic interactions. Therefore, the food additive "Magnetofood" can perform several technological functions in the system at once: to act as a stabilizer and a structuring agent (foam and gel of the educator). Investigations of the structural and

**mechanical parameters of whipped masses have shown the expediency of using the additive "Magnetofood" in the technology of marshmallow production: when the food additive "Magnetofood" is added in an amount (0,10-0,20)% by weight of raw material: the value of the smallest density value decreases (35-60) kg / m<sup>3</sup> in agar samples, at (40-55) kg / m<sup>3</sup> - in pectin and the duration of beating - at (1-2) minutes; the process of stud formation is accelerated for (5-7) minutes - in samples on agar and (2-3) minutes - on pectin; the maximum shear stress is increased by (0.5-2.1) kPa - on agar and by (0.8-1.5) kPa - on pectin in comparison with the control.**

**The mathematical modeling of experimental data on foaming in experimental samples of egg protein has established optimal values for foaming capacity: the content of the food additive "Magnetofood" -  $\omega = 0.161$ ; pH 4.904; for the stability of the foam -  $\omega = 0.159$ ; pH = 4,896.**

**The obtained results testify to the high potential of further research and development of advanced technologies of high-quality whipped pastry products with prolonged storage periods.**



УДК 620.92

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-192-199

## ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНІЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Караєв О. Г., д. т. н.,

Бондаренко Л. Ю., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел. (098)-846-00-56

**Анотація** – у статті наведено опис технічної енергетичної системи вироблення енергопродукту із зрізаних гілок плодової деревини і проведено її аналіз. Встановлено, що зрізані гілки плодкових дерев можна віднести до відновлюваного ресурсу, який може бути перетворений в певний вид енергопродукту. Представлено інформаційну модель використання відновлюваних ресурсів плодкових насаджень і визначено види технологій їх перетворення. Визначено об'єм деревини зрізаних гілок плодкових культур, що дозволяє встановити орієнтовний їх об'єм окремого господарства.

**Ключові слова** – відновлюваний ресурс, енергопродукт, зрізані гілки, плодковий сад, технічна енергетична система.

*Постановка проблеми.* Галузевою програмою розвитку садівництва України на період до 2025 року передбачено збільшення площ, зайнятих під садами, на 4,5% [1]. Тобто, прогнозоване середнє збільшення площ закладання садів щороку має дорівнювати 5 тис. га. Станом на 2011 рік площі під садами склали 99,2 тис. га, а енергетичний потенціал зрізаних гілок плодкових дерев (ЗГП) складає  $8 \cdot 10^6$  ГДж [2].

За класифікацією, яка наведена в [3], ЗГП є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. За нашими даними середнє значення біомаси ЗГП з одного гектара плодового саду інтенсивного типу дорівнює близько 8 т, теплота згорання якої складає 10,2 МДж/кг. Згідно попередньої оцінки, яку наведено в [2], біомаса ЗГП в Україні станом на 2011 р. складає близько 784 тис. т/рік. Згідно з [4] ЗГП можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перероблений в певний вид енергопродукту. На даний час утилізацію ЗГП здійснюють переважно спалюванням на відкритому повітрі, що призводить до таких

експлуатаційних наслідків, як виснаження природних ресурсів і негативних змін у біосфері.

Практичне використання даного енергетичного потенціалу стримується із-за недостатнього наукового обґрунтування щодо розроблення ефективних технологій вироблення енергопродукту з ЗГП.

*Аналіз останніх досліджень.* Україна 20 березня 2015 р. підписала Угоду із Європейським Союзом про участь у Рамковій програмі ЄС з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020». Основним пріоритетом цієї програми є сприяння підвищенню конкурентоспроможності сільськогосподарських виробництв за рахунок проведення актуальних наукових досліджень. В рамках цього проекту в Україні створено стратегію розвитку біоенергетики з відходів садівництва, а саме – проект uP\_running «Підвищення рівня сталого постачання деревної біомаси від обрізання та від викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень» [5]. Метою проекту є створення передумов перетворення аграрних відходів в енергопродукт та пошук альтернативної енергії для нагрівання замість використання природного газу.

Використання біомаси, отриманої від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень ОВБСН, для потреб енергетики України є відносно новим напрямком, який наразі активно досліджується і розвивається. Науково-технічним центром «Біомаса» проведено аналіз енергетичного використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні, включаючи і сектор садівництва та розглянуто напрямки утилізації біомаси від обрізки багаторічних сільськогосподарських насаджень в деяких країнах ЄС [6,7]. Встановлено, що Україна має потенціал деревної біомаси (із традиційних джерел – дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки і нетрадиційних джерел – сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи ОВБСН), доступної для виробництва енергії 2,6 млн. т нафтового еквіваленту/рік [7]. Оцінка потенціалу деревної біомаси, що може бути отримана із додаткових джерел, почала виконуватися порівняно недавно і потребує подальшого уточнення [6].

Встановлено, що споживання деревної біомаси для енергетичних потреб із зрізаних гілок плодкових дерев, дуже обмежено. Також встановлено, що конкретного аналізу вироблення енергопродукту із зрізаних гілок плодкових дерев як технічної енергетичної системи не було зроблено. А деревна біомаса цього виду може бути дешевим місцевим паливом.

Так як сільгоспвиробники сьогодні починають орієнтуватися на зовнішній ринок збуту своєї продукції, то вона повинна бути сертифікована відповідно до вимог стандарту GLOBALG.A.P [8]. Цим

стандартом передбачено сертифікацію усіх процесів виробництва сільськогосподарської продукції – від садіння рослини у ґрунт до необробленого продукту. Базовим модулем даного стандарту, а саме АГ6 передбачено ліквідацію відходів і контроль забруднення навколишнього середовища, переробка і повторне використання відходів. Такі вимоги забезпечують виявлення факторів потенційної шкоди або збитків та встановлення ризиків і оцінка їх масштабу.

Тому, на сьогоднішній день проблема перероблення ЗГП в енергопродукт є актуальною і потребує проведенню цілої низки наукових досліджень.

*Постановка завдання.* Створення підґрунтя щодо розробки методології опису технічної енергетичної системи вироблення енергопродуктів зі зрізаних гілок плодкових дерев.

*Основна частина.* За міжнародною класифікацією ISIC виробнича галузь садівництва України належить до класу D. 3 – підсектор біологічних галузей промисловості [4]. В цьому підсекторі за кодом 011 визначена економічна діяльність з «виращування сільськогосподарських культур», у нашому випадку – плодкових культур. Якщо в структурі технологій вирощування плодкових культур певних господарств будуть наявні (діючі) технічні енергетичні системи (ТЕС) з вироблення енергопродукту, то такі виробництва можуть бути не тільки споживачами енергопродуктів, а і їх постачальником. Схема структури моделі ТЕС такого виробництва наведена на рис. 1.

З наведеної схеми видно, що ЗГП можуть бути перероблені в такі енергопродукти:

– «біопаливо» (паливні брикети, або тріска) – тверде паливо для нагрівання;

– «біодобриво» для керування фізичними і хімічними процесами в ґрунті;

– «біометан» – газоподібне паливо.

Аналіз ТЕС проведемо згідно з [4] та з урахуванням організаційно-технологічної та інформаційної складових діяльності з перероблення ЗГП в енергопродукти. Тоді загальна схема процесу вироблення енергопродукту буде мати вигляд, який наведено на рис. 2.

Схема процесу вироблення енергопродукту складається з таких взаємопов'язаних блоків:

1. Формування об'ємів ЗГ.
2. Технології перетворення ЗГ в енергопродукт.
3. Технічні засоби і обладнання.
4. Організація ТЕС.

Для надання практичного змісту першого блоку схеми вироблення енергопродукту, нами були проведені дослідження з визначення об'ємно-масових характеристик ЗГП в дослідному

господарстві «Мелітопольське» та визначено об'єм деревини, що є основним вхідним показником до першого блоку: плодоносні насадження – 8т/га; молоді насадження – 1,8 т/га.

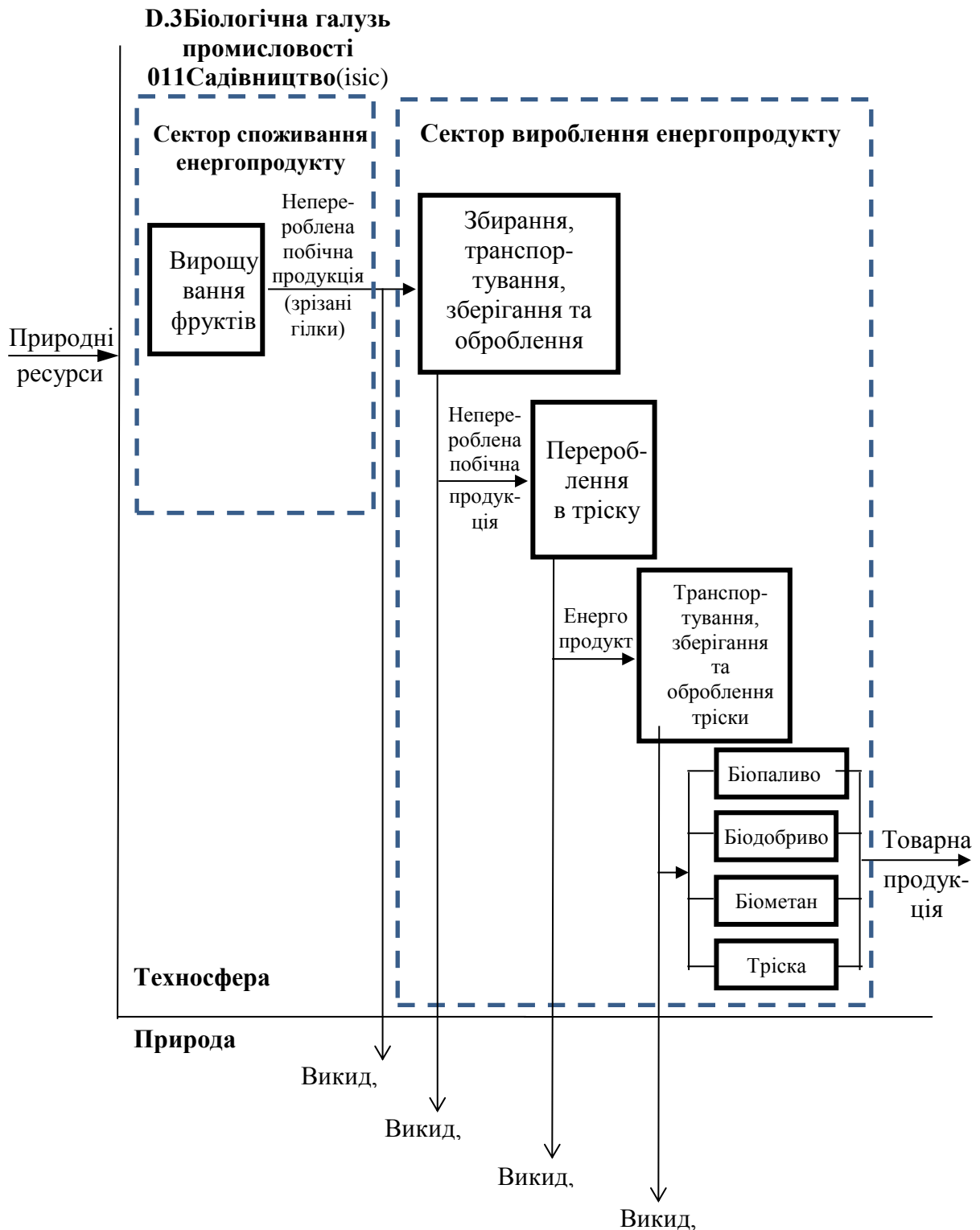


Рис. 1. Структура моделі ТЕС вироблення енергопродукту з плодової деревини.

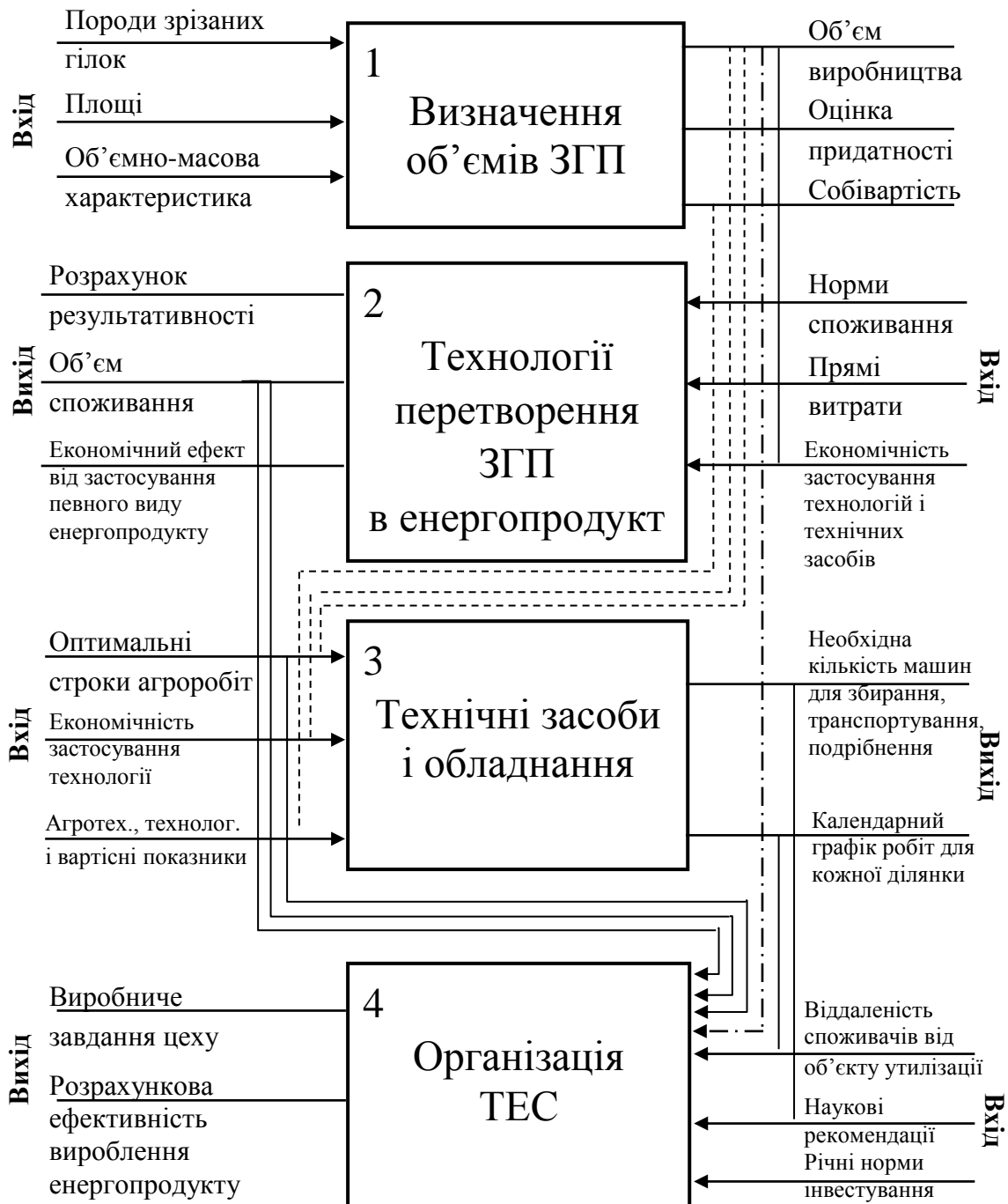


Рис. 2. Загальна схема процесу вироблення енергопродукту із ЗГП.

Така інформація дозволяє визначити орієнтовний об'єм ЗГП певного господарства та прийняти рішення щодо вироблення певного виду енергопродукту.

Вхідним показником для другого блоку є економічність застосування технологій отримання конкретного виду енергопродукту. Так, для перетворення ЗГП у тверде паливо (паливні брикети) нами проведені попередні дослідження, які дозволили встановити, що процес переробки гілок на брикети має енергоємність 2 МДж/кг, а питома

теплота їх згорання складає близько 10МДж/кг. Це вказує на енергетичну ефективність використання ВР.

Перетворення ЗГП на «біодобрива» можливо безпосереднім внесенням тріски гілок у ґрунт міжрядь саду та компостування за допомогою різних хімічних або біологічних методів. На даний час найбільш розповсюдженим способом перетворення ЗГП залишається виготовлення «біодобрив» в природних польових умовах (буртовий спосіб компостування). Для удосконалення даного способу розроблено термодинамічну модель процесу компостування, яка дозволила оптимізувати параметри буртів [2]. Встановлено, що з урахуванням визначених втрат енергії при компостуванні тріски масою 10т, довжина бурта повинна складати 6,4м, а площа його поверхні має дорівнювати 32м<sup>2</sup>. Вихідним показником другого блоку є прогнозована економічна вигода від реалізації того чи іншого виду енергопродукту.

Перетворення ЗГ на «біометан» потребує розробки методики оптимізації тривалості циклу роботи біогазу генератора, який можливо використовувати для установок будь-якого обсягу.

Третій блок схеми дає змогу для прийняття рішення щодо технічного забезпечення (моделі) виготовлення певного енергопродукту із сукупністю машин і обладнання для вироблення, споживання, перетворення та розподілу енергопродукту, а також визначити календарні графіки виконання робіт.

Четвертий блок дає можливість розробити завдання конкретним виробничим підрозділам та розрахувати ефективність вироблення певного виду енергопродукту. Для інтегрованої системи управління сільськогосподарським виробництвом [8] необхідно розробити документовані процедури щодо розкриття критеріїв для контрольних точок стосовно ліквідації відходів і контролю забруднення навколишнього середовища.

*Висновки.* 1. На підставі розробленої схеми аналізу ТЕС вироблення енергопродукту з плодової деревини визначено, що ВР плодового саду має бути повернений в сектор постачання енергопродукту і реалізований в секторі споживання. У разі якщо ВР повертається до плодового саду у вигляді біодобрива, то енергетичний баланс саду буде збережений; а при перетворенні у тверде паливо або біогаз для нагрівання, створюються певні ресурси для нарощування енергетичного потенціалу країни.

2. Наведена схема вироблення енергопродукту є основою для побудови комплексної моделі процесу використання ВР плодового саду. Комплексна модель має утворюватися з базової моделі, яка, в свою чергу, складається з функціональної, організаційної і інформаційної моделей, та бізнес-моделі вироблення певного виду енергопродукту.

## Література:

1. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. URL: <http://minagro.gov.ua/node/14018> (дата звернення: 13.02.2019).
2. *Караєв О. Г.* Наукові основи створення механізованих технологічних комплексів для виробничих систем розсадництва плодкових культур: автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2017. 41 с.
3. ДСТУ ISO 13600-2001. Системи енергетичні технічні. Основні положення. [Чинний від 2002-04-01]. Київ, 2001. 15 с.
4. ДСТУ ISO 13601-2001. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту. [Чинний від 2002-05-01]. Київ, 2001. 37 с.
5. В Украине создали стратегию развития биоэнергетики из отходов садоводства. URL: [http://agroportal.ua/news/ukraine-v-ukraine-sozdali-strategiyu-razvitiya-bioenergetiki-iz-otkhodov-sadovodstva/](http://agroportal.ua/news/ukraine/v-ukraine-sozdali-strategiyu-razvitiya-bioenergetiki-iz-otkhodov-sadovodstva/) (дата звернення: 13.02.2019).
6. *Железна Т. А., Баитовий А. І., Гелетука Г. Г.* Аналіз можливості отримання деревного палива з додаткових джерел в Україні // Промислова теплотехніка. 2016. Т. 38, № 4. С. 71–77.
7. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетука та ін. // Промислова теплотехніка. 2018. Т. 40, № 6. С. 68–74.
8. INTEGRATED FARM ASSURANCE. All Farm Base - Crops Base - Fruit and Vegetables. CONTROL POINTS AND COMPLIANCE CRITERIA. URL: [https://www.globalgap.org/uk\\_en/](https://www.globalgap.org/uk_en/) (дата звернення: 11.02.2019).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Караев А. И., Бондаренко Л. Ю.

**Аннотация** – в статье наведено описание технической энергетической системы выработки энергопродукта из срезанных веток плодовой древесины и проведен ее анализ. Установлено, что срезанные ветки плодовых деревьев можно отнести к возобновляемым ресурсам, которые могут быть преобразованы в определенный вид энергопродукта. Представлена информационная модель использования возобновляемых ресурсов плодовых насаждений и определены виды технологий их переработки.

**Определен объём срезанных веток конкретного вида плодовых культур, который позволяет определить ориентировочный их объём отдельно взятого хозяйства в целом и принять решение о производстве определенного вида энергопродукта.**

## **DEFINING AND DESCRIPTION OF TECHNICAL ENERGY SYSTEM FOR USING RENEWABLE RESOURCES OF FRUIT PLANTATIONS**

O. Karaiev, L. Bondarenko

### *Summary*

**The description of the technical power system of the production of energy products from cut branches of fruit trees is given in the article as well as its analysis has been carried out. It has been noted, that the cut branches of fruit trees can be attributed to a renewable resource, which can be transformed into a certain type of energy product. In case when the structure of fruit crops growing technology has a technical energy system for the production of energy products, then such production entities may become not only consumers of energy products, but their suppliers as well.**

**The information model of renewable resources of fruit plantations is presented and the types of technologies of their transformation are defined. The volume of cut timber cuttings has been determined: fruiting plantations - 8 t/ha; young plantings - 1.8 t/ha. These data enables to determine the approximate volume of cut branches of fruit crops of a separate economy and make decision on the development of a particular type of energy product.**

**It has been defined, that the processing of branches into briquettes has the energy intensity of 2 MJ/kg, and the specific heat of their combustion is about 10 MJ/kg. It testifies that the energy efficiency of using renewable resources serves as a "biofuel". To improve the bourse method of "bio-fertilizers" manufacturing the thermodynamic model for composting process has been developed. It enables to optimize the parameters of burts, taking into account certain energy losses when composting wood chips of 10 tons: the length of the burt should be 6,4 m, and its surface area should be 32 m<sup>2</sup>. It has been noted, that the transformation of the cut branches into "bio-methane" needs the development of the method for optimizing the duration of the biogas generator operation cycle. The scheme of energy product development has been worked out as well as it was proved that it is the basis for making the complex model of the process for fruit garden renewable resource use.**



*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

УДК 621.316

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-200-207

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ  
МОДЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Диордиев В. Т., д. т. н.,

Кашкарёв А. А., к. т. н.,

Диордиев А. А. аспирант\*

*Таврический государственный агротехнологический университет  
имени Дмитрия Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

**Аннотация** – приведена методика разработки и использования интегрированных математических моделей описания динамических объектов электроэнергетики. Данный подход позволяет решить задачу расчета оптимального управления динамическими дискретными объектами при значительном числе тактов управления, что является обычно ограничивающим условием с вычислительной точки зрения. В качестве существенного достоинства данного алгоритма следует отметить, что для окончательного формирования вектора сдвига используется исходная разреженная матрица коэффициентов. Учет структуры ограничений-равенств динамики управляемого процесса приводит к исключению из алгоритма промежуточных преобразований, а из рассматриваемой матрицы достаточно выделить только ненулевые элементы.

**Ключевые слова** – обобщенная модель управления, вектор управляемых координат, интегрированная математическая модель, критерий энергоэффективности, матрица параметров управления, изображающая точка, проекционно-градиентный метод, коэффициент притяжения ограничений-неравенств, оператор сдвига, минимизируемая функция.

*Постановка проблемы.* Анализ существующих методов математического описания статических и динамических параметров объектов электроэнергетики показал, что они реализуют в основном процедуру замены в процессе алгоритмических преобразований нулевых элементов на ненулевые, что требует значительного

---

© Диордиев В. Т., Кашкарёв А. А., Диордиев А. А.  
Научный руководитель – д. т. н., проф. Назаренко И. П.

количества итераций для получения решения по алгоритму проекционно-градиентного метода оптимизации. В предлагаемой методике, для окончательного формирования вектора сдвига, используется исходная разреженная матрица коэффициентов, что позволяет освободиться от целого ряда дополнительных расчетов и приводит к упрощению процедуры получения математических моделей.

*Анализ последних исследований.* Для получения параметров модели, определяющих установившиеся значения параметров ее входа и выхода, используются рекуррентные алгоритмы оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие математические модели автоматизации без учета вопросов оптимизации процедуры получения данных моделей.

*Целью исследований* является разработка интегрированных математических моделей описания динамических объектов, дающих возможность упрощения процедуры их вычисления, что является принципиальной особенностью рассматриваемого метода, который позволяет эффективно учитывать активность ограничений неравенств при движении к экстремуму оптимизируемой функции.

*Основная часть.* Для динамических электроэнергетических объектов обобщенная модель дискретного типа будет иметь вид

$$\bar{x}_k^0 = [A^0] \bar{x}_{k-1} + [B^0] \bar{u}_k; k = \overline{1, N_t}; \dim \bar{x}^0 = \dim \bar{u}^0 = N_p, \quad (1)$$

где  $[A^0]$  – матрица параметров объекта;

$[B^0]$  – матрица параметров управления;

$\bar{x}$  – вектор управляемых координат;

$\bar{u}$  – вектор управляющих координат (величин);

$\dim \bar{x}$  – оператор сдвига;

$N_t$  – число тактов управления,

при этом для дальнейшего анализа принято, что размерность вектора управляющих воздействий равна размерности вектора регулируемых величин. На указанные величины накладываются двусторонние ограничения

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x}_k^0 \leq \bar{x}^{\max}; \bar{u}^{\min} \leq \bar{u}_k^0 \leq \bar{u}^{\max}; \forall k = \overline{1, N_t}, \quad (2)$$

где ставится задача нахождения такой последовательности  $\{\bar{u}'_k, k = \overline{1, N_t}\}$  управляющих воздействий, которая доставляет минимум некоторому критерию качества функционирования системы (в рассматриваемом случае это интегральный критерий энергоэффективности)

$$\bar{f}^0 = f^0(\bar{x}_1^0, \dots, \bar{x}_{N_t}^0, \bar{u}^0, \dots, \bar{u}_{N_t}^0) \quad (3)$$

при заданном векторе начальных условий объекта. При соответствующих обозначениях [1] данная задача записывается в виде эквивалентной задачи математического программирования:

$$\text{найти } \rightarrow \bar{x} = \bar{x}^{opt} : f(\bar{x}) \rightarrow \min \left[ h(\bar{x}) = 0; \bar{x}^{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}^{\max} \right], \quad (4)$$

$$\text{где } [h]^T = [h_1^T \dots h_{N_t}^T], \dim h = N_t N_p = m; \quad (5)$$

$$h_k = [A^0] \bar{x}_{k-1}^0 + [B^0] \bar{u}_k^0 - \bar{x}_k^0; \quad (6)$$

$$\bar{x}^T = [\bar{x}_0^{0T}, \bar{x}_1^{0T}, \bar{u}_1^{0T}, \dots, \bar{x}_{N_t}^{0T}, \bar{u}_{N_t}^{0T}], \dim \bar{x} = (2N_t + 1)N_p = n, \quad (7)$$

т.е. сложность алгоритма расчета параметров оптимального управления объектом определяется функциональной сложностью решения задачи математического программирования (4-7).

В данном случае искомый вектор определяется с помощью рекуррентной процедуры [1]:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + \Delta t(\bar{x}) \bar{u}_k; k = 1, 2, \dots; \bar{x}_0 = (\bar{x}^{\min} + \bar{x}^{\max}) / 2, \quad (8)$$

где  $\Delta t$  – шаг процедуры;  $k$  – номер итерации, а смысл и размерность введенных вектора переменных  $\bar{x}$  и вектора сдвига  $\bar{u}$  обусловлены формой задачи (4-7). Вектор сдвига является общим решением неопределенной системы линеаризованных алгебраических уравнений:

$$\bar{u} : [A] \bar{u} = \bar{b}; \bar{b} = -\bar{h}; \|\bar{u} - \nabla \bar{f}\| \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$[A^0] = \begin{bmatrix} A^0 : -E : B^0 \\ A^0 : O : -E : B^0 \\ \vdots \\ A^0 : O : -E : B^0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $[A^0]$  – якобиан ограничений-равенств;

$\nabla \bar{f}(x)$  – вектор градиента оптимизируемой функции,

при этом  $\dim E = N_p \times N_p$ . Данный вектор принят равным взвешенной сумме двух векторов – стабилизирующего вектора и вектора ортогональной проекции градиента минимизируемой функции

$$\bar{u} = \bar{u}_q + \gamma \bar{u}_p; \gamma < 0; |\gamma| < 1, \quad (11)$$

где параметр  $\gamma$  выбирается так, чтобы обеспечить устойчивое движение к допустимой области при одновременном достижении точки экстремума и эти векторы должны удовлетворять условиям:

$$\bar{u}_q : [A]\bar{u}_q = \bar{b}; \bar{u}_p : [A]\bar{u}_p = 0; \|u_p - \nabla f\| \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$\bar{u}_q = [R]\hat{u}_q; \bar{u}_p = [R]\hat{u}_p; [R] = \text{diag } \alpha_i(\bar{x}); i = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Векторы  $\hat{u}_q, \hat{u}_p$  – соответствующие решения уравнения (9) в неевклидовой метрике, определяемой диагональной матрицей  $[R]$ , причем величины элементов этой матрицы зависят от положения изображающей точки относительно двусторонних ограничений:

$$\alpha_i = 2d_i^{\min} d_i^{\max} / (d_i^{\min} + d_i^{\max} + 2d_i^{\min} d_i^{\max}); d_i^{\min} \stackrel{\Delta}{=} x_i - x_i^{\text{mn}}; d_i^{\max} \stackrel{\Delta}{=} x_i^{\text{mx}} - x_i. \quad (14)$$

Разности векторов сдвига в принятой неевклидовой и евклидовой метриках являются коэффициентами притяжения ограничений-неравенств, равные разности множителей Лагранжа ограничений, соответствующих нижней и верхней границ допустимого изменения переменных [4, 5]:

$$\bar{S}_q \stackrel{\Delta}{=} \hat{u}_q - u_q = \lambda_q^{\min} - \lambda_q^{\max}; \quad (15)$$

$$\bar{S}_p \stackrel{\Delta}{=} \hat{u}_p - u_p = \lambda_p^{\min} - \lambda_p^{\max}. \quad (16)$$

Возможность такого простого вычисления указанных величин является принципиальной особенностью рассматриваемого метода, которая позволяет эффективно учитывать активность ограничений неравенств при движении к экстремуму оптимизируемой функции.

Следует отметить некоторые особенности алгоритма расчета вектора сдвига. В данном случае стабилизирующая и проективная составляющие вектора сдвига в неевклидовой метрике задаются в форме

$$\hat{u}_q = [A]^T \hat{\lambda}_q; \hat{u}_p = \nabla f - [A]^T \hat{\lambda}_p; \dim \hat{\lambda}_q = \dim \hat{\lambda}_p = m, \quad (17)$$

т. к. функции исходных градиентов ограничений-равенств линейные. Необходимые значения множителей Лагранжа – весовых коэффициентов указанных выше градиентов являются решениями систем уравнений с симметричной матрицей коэффициентов, но с различными правыми частями:

$$[G]\hat{\lambda}_q = \bar{b}; [G]\hat{\lambda}_p = [A][R]\nabla f; [G] = [A][R][A]^T. \quad (18)$$

Решение (18) проводится на основе преобразования их в системы уравнений с верхней треугольной матрицей коэффициентов

$$[\tilde{G}]\hat{\lambda}_q = \bar{b}; [\tilde{G}]\hat{\lambda}_p = \nabla f. \quad (19)$$

Элементы матрицы коэффициентов этих уравнений вычисляются с помощью процедуры:

$$j = 1: \tilde{g}_{11} = g_{11}; g_{11} = [a_1]^T [R][a_1]; \quad (20)$$

$$j = \overline{2, m}: \tilde{g}_{j1} = g_{j1}; g_{j1} = g_{ji} - \sum_{\ell=1}^{i-1} \frac{g_{j\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}} = [a_j]^T [a_i]; \quad (21)$$

$$\tilde{g}_{jj} = g_{jj} - \sum_{i=1}^{j-1} \frac{g_{ji}^2}{\tilde{g}_{ii}} = [a_j]^T [R][a_j]; \quad (22)$$

а их правые части вычисляются с помощью процедуры

$$\tilde{g}_{m+1,1} = g_{m+1,1}; \tilde{g}_{m+1,i} = g_{m+1,i} - \sum_{\ell=1}^m \frac{\tilde{g}_{m+1,\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}}; i = \overline{2, m}, \quad (23)$$

где  $\vec{g}_{m+1} = \vec{b}$  при определении стабилизирующего вектора, а величина  $\vec{g}_{m+1} = [A][R]\nabla \vec{f}$  – вектора проекции градиента. Координатные составляющие искомого вектора решения, обозначенного далее как  $\lambda_{m+1,j}$ , вычисляются, начиная с последней по нумерации составляющей при помощи процедуры:

$$j = m: \hat{\lambda}_{m+1,m} = \frac{\tilde{g}_{m+1,m}}{\tilde{g}_{mm}}; \quad (24)$$

$$j = \overline{m-1, 1}: \hat{\lambda}_{m+1,j} = \left( \tilde{g}_{m+1,j} - \sum_{\ell=j+1}^m \hat{\lambda}_{m+1,\ell} \frac{g_{\ell j}}{\tilde{g}_{jj}} \right). \quad (25)$$

Отличие процедур (20) и (24) заключается [2, 4] в формальном отсутствии величин  $\frac{\tilde{g}_{j\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}} = \hat{\lambda}_{j\ell}$  – коэффициентов ортогонализации

Грамма-Шмидта, что позволяет уменьшить число вычислительных операций и не вводить новых переменных, хотя количество вычислений при этом несколько увеличивается и достигается учет структуры ограничений-равенств как уравнений динамики управляемого процесса. В данном случае главная вычислительная часть рассматриваемого алгоритма оптимизации-решения системы уравнений (20), которое надо проводить на каждой итерации рекуррентной процедуры (10). Для реализации этого решения необходимо сформировать матрицу коэффициентов уравнений (18) – матрицу Грамма векторов коэффициентов исходной недоопределенной системы уравнений (9), обусловленной уравнениями объекта моделирования. Учет структуры ограничений сводится к исключению из алгоритма преобразований, связанных с указанными элементами. Из рассматриваемой матрицы достаточно выделить только ненулевые элементы и в этом случае требуемая

матрица коэффициентов представляется в виде функционально и структурно идентичных блоков размерности, число которых должно быть равно числу тактов управления, где каждый блок содержит две матрицы

$$[S_j]^T = [[G'_j]; [G'_{j,j+1}]]; j = \overline{1, N_t}, \quad (26)$$

где матрица – матрица Грамма, т. е. скалярных произведений векторов коэффициентов уравнения объекта, сформированная для одного такта управления. С учетом принятой неевклидовой метрики, а также уравнений:

$$[G'_j] = [R_j^x] + [A][R_{j-1}^x][A]^T = [B][R_j^u][B]^T; \quad (27)$$

$$[R_j^x] = \text{diag } \alpha_{ji}^x; [R_j^u] = \text{diag } \alpha_{ji}^u; i = \overline{1, N_p}. \quad (28)$$

Матрица – матрица скалярных произведений векторов коэффициентов уравнения объекта моделирования, записанного для j-го такта, и векторов коэффициентов этого же уравнения, записанного для (j+1)-го такта.

$$[G'_{j,j+1}] = -[A][R_j^x] \quad (29)$$

Здесь на каждом блоке происходит преобразование по алгоритму (20), а правые части уравнений (18) – по алгоритму вида (23), после чего с помощью уравнений (24) вычисляются множители Лагранжа ограничений-равенств, а с помощью выражений (17) и (13) – искомые векторы сдвига для всех переменных.

*Вывод.* Изложенная методика позволяет решить задачу оптимального управления динамическими дискретными объектами при значительном уменьшении количества итераций, что способствует упрощению математических моделей при создании алгоритмического и программного обеспечения систем управления динамическими объектами электроэнергетики.

Литература:

1. Ланкастер П. Теория матриц / пер. с англ. Москва: Наука, 1988. 280 с.
2. Лавров Є. А., Кошман О. В. Інформаційна технологія ергономічного проектування автоматизованих технологічних комплексів // Вісник Сумського ДАУ. 1999. № 3. С. 84–90.
3. Ладанюк А. П. Автоматизація технологічних процесів виробництва харчової промисловості: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2001. 222 с.
4. Кунцевич В. М., Лычак М. М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления: игровой подход. Київ: Наукова думка, 1985. 247 с.

5. *Киричков В. Н.* Идентификация объектов систем управления технологическими процессами. Киев: Высшая школа, 1990. 263 с.

## **РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПИСУ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ**

Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О., Діордієв А. О.

*Анотація* – наведено методіку розробки і використання інтегрованих математичних моделей опису динамічних об'єктів електроенергетики. Даний підхід дозволяє вирішити задачу розрахунку оптимального управління динамічними дискретними об'єктами при значному числі тактів управління, що зазвичай обмежують умовою з обчислювальної точки зору. У якості істотної переваги даного алгоритму слід відмітити, що для остаточного формування вектора зсуву використовується вихідна розріджена матриця коефіцієнтів. Облік структури обмежень-рівностей динаміки керованого процесу призводить до виключення з алгоритму проміжних перетворень, а з матриці, яка розглядається, достатньо виокремити тільки не нульові елементи

## **DEVELOPMENT OF THE INTEGRATED MATHEMATICAL MODELS FOR THE DESCRIPTION OF THE DYNAMIC ELECTRIC POWER PLANTS**

V. Diordiev, A. Kachkarjov, A. Diordiev

### *Summary*

The methodology of the development and use of integrated mathematical models for describing dynamic objects of electric power industry is given. This approach allows us to solve the problem of the optimal control calculating for the dynamic discrete objects with a significant number of control cycles, which usually is a limiting condition from a computational point of view. As a significant advantage of this algorithm, it should be noted that the original sparse matrix of coefficients is used for the final formation of the shift vector. I.e. the procedure of replacing zero elements with non-zero ones in the process of algorithmic transformations as a characteristic of well-known optimization methods is not used and the number of iterations is significantly reduced during the obtaining of a solution using the algorithm of the projection-gradient optimization method. This, in turn, simplifies the algorithmic and software optimal tasks for the operational management of dynamic objects. Moreover, it is assumed

for further analysis, that the dimension of the vector of control actions is equal to the dimension of the vector of adjustable values. Bilateral restrictions are imposed on these values with the task is to find such a sequence of control actions that delivers at least some criterion of the system quality, for example for the integral criterion of energy efficiency. Additionally, the shift vector differences for the adopted non-Euclidean and Euclidean metrics are the coefficients of attraction of the inequality constraints, equal to the difference of Lagrange multipliers of the constraints corresponding to the lower and upper limits of the allowable change of variables. The possibility of such a simple calculation of these quantities is a fundamental feature of the method under consideration. This makes it possible effectively take into account the activity of inequality constraints when moving to an extremum of an optimized function. The considering the structure of equality constraints of the controlled process dynamics leads to the exclusion of intermediate transformations from the algorithm, and from the matrix under consideration it is enough to select only nonzero elements. So, for this case the required coefficient matrix is represented as functionally and structurally identical units of dimensions and its number should be equal to the number of control cycles, where each block contains two matrices.



УДК 621.316

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-208-215

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Лисенко О. В., к. т. н.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного  
Тел. (0619) 42-11-74

*Анотація* – робота присвячена вирішенню задачі стохастичної оптимізації. У якості критеріїв оптимізації запропоновані наступні формулювання: сумарна генерована енергія практично рівна спожитій, тобто мінімізується математичне очікування небалансу; значення небалансу потужності мають бути якомога меншими; наявність резервного джерела з заданим режимом роботи; обмеження по надлишку енергії, тобто по втратах генерування; обмеження по дефіциту енергії, тобто по втратах споживання; мінімізація вартості обладнання. Визначено, що в термінах оптимізації комбінованої енергосистеми задача мінімізації собівартості електроенергії, забезпечення певної кількості енергії, якщо режим її надходження несуттєвий, відноситься до *M*-моделі. У вигляді *M*-задачі може формулюватися і потреба в мінімізації втрат споживання (LPSP-критерій) чи втрат енергії (EXC-критерій) при фіксованих обмеженнях. У випадку комбінованих енергосистем на основі ВДЕ втрати енергії чи споживання спричинені розкидом значень потужності відносно очікуваних значень, тому таку задачу краще формулювати в термінах *D*-моделі. Варіантом *P*-задачі є забезпечення нормативної частоти струму. Умови *P*-задачі частіше можуть фігурувати в якості обмеження, оскільки основною цільовою функцією все ж виступають вартісні показники. Зазначено, що часто в задачах стохастичної оптимізації необхідно спостерігати за змінами математичного очікування і дисперсії одночасно, не допускати перевищення ними заданих значень або допускаючи це перевищення з певною імовірністю. Для вирішення цієї проблеми розглядаються моделі зі змішаними умовами (двокритеріальні та багатокритеріальні задачі).

*Ключові слова* – методи оптимізації, відновлювані джерела енергії, збитки, комбіновані енергосистеми.

*Постановка проблеми.* Оптимальне співвідношення окремих елементів в комбінованих енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) визначається з урахуванням багатьох важливих факторів, а саме: забезпеченості традиційними джерелами енергії; кліматичними (метеорологічними) умовами; структурою систем енергопостачання і енергоспоживання; вимогами до якості електричної і теплової енергії; вимогами до графіка енергопостачання; екологічними та економічними факторами, тощо. Особливістю локальних енергосистем є потреба в оптимізації складу генеруючих потужностей та їх характеристик, режимів сумісної роботи. Така оптимізація має враховувати особливості споживання енергії, вимоги до надійності забезпечення, наявний потенціал відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової), вартісні показники. Поєднання фотоелектричних панелей і вітрових установок підвищує загальну вихідну енергію. Проте система накопичення енергії повинна забезпечувати безперервне живлення і перекрити можливий дефіцит електроенергії з відновлюваних джерел. Останнім часом, при зростанні питомої частки ВДЕ в енергетиці, з'являється значна кількість публікацій щодо методів обчислювальної оптимізації для досягнення техніко-економічної ефективності в гібридних системах. Оптимізація здійснюється по економічних показниках, таких як чиста приведена вартість системи, собівартість енергії і т.д. При цьому в якості додаткових умов вимагається певна надійність енергозабезпечення. Ці показники використовуються для визначення технічної та економічної ефективності конкретного проекту.

*Аналіз останніх досліджень.* Для досягнення техніко-економічної оптимальності комбінованих систем можуть бути застосовані різні методи оптимізації. Були запропоновані різні способи, деякі на основі більш традиційних підходів, таких як цілочисельне і інтервальне лінійне програмування, методи релаксації, квадратичного програмування та симплекс-пошуку, проте зростає число евристичних підходів, особливо генетичних алгоритмів і групової оптимізації. Представлені в літературі методи зокрема включають [1]:

- лінійне цілочисельне програмування (Integer Programming);
- алгоритм пошуку шляхом ділення прямокутників (Dividing Rectangles Search);
- генетичні алгоритми і нечіткі генетичні алгоритми (Genetic and Fuzzy Genetic);
- метод групової оптимізації, або рою часток (Particle Swarm Optimizatin);
- модель нормалізації (Simulated Annealing);
- гібридизовані методи розв'язку (Hybridized Solutions);

– комерційне програмне забезпечення (Commercial Software) та інші.

У загальному випадку оптимізаційні задачі можуть бути розбиті на три групи: детерміновані, ті що вирішуються в умовах неповноти інформації, і істотно стохастичні задачі. [2]

Окремим випадком стохастичного є статистичний опис. Ця форма опису використовується тоді, коли вдається оцінити лише вибірки деякої випадкової величини (в практичних завданнях так найчастіше і буває), на підставі якої і будуються відповідні емпіричні характеристики (щільність розподілу, функція розподілу, тощо).

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи є визначення оптимального співвідношення окремих елементів в комбінованих енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.

*Основна частина.* Особливістю математичного моделювання енергосистеми на базі відновлюваних джерел важливим є врахування таких параметрів, як максимальні, середні та мінімальні досяжні значення потужності, характер розподілу випадкових значень, тобто імовірність певних режимів, а також імовірні темп та амплітуда коливань поточних значень в режимі реального часу. При оптимізації потужностей енергосистеми першочерговим є визначення довготривалих показників, зокрема середніх значень (або математичних сподівань). При цьому змінну складову системи «вітер-сонце» можна представити осередненими показниками, а саме коефіцієнтами використання встановленої потужності.

Представимо баланс потужності в автономній електроенергетичній системі у вигляді

$$P_{\Delta}(t) = P_{Ren}(t) + P_{Ak}(t) - P_L(t), \quad (1)$$

де  $P_{Ren} = P_W + P_{PV}$  – потужність відновлюваних джерел енергії (вітру та сонця), що мають випадкову природу,  $P_{Ak}$  – потужність (стан зарядки) акумуляторної батареї,  $P_L$  – потужність навантаження (споживання).  $P_W^0$ ,  $P_{PV}^0$ ,  $P_{Ak}^0$  – номінальні потужності.

Зазначені потужності є функціями часу.

Критерій оптимізації, або цільова функція, виходячи з найбільш уживаних вимог до комплексних енергосистем на базі ВДЕ, може мати наступні формулювання.

1) Сумарна генерована енергія практично рівна спожитій, тобто мінімізується математичне очікування небалансу:  $M(P_{\Delta}) \rightarrow \min$  або  $M(P_{\Delta}) = 0$  (М-модель).

2) Значення небалансу потужності мають бути якомога меншими:  $D(P_{\Delta}) \rightarrow \min$ .

3) Передбачено резервне джерело (наприклад, дизель-генератор чи міні-ГЕС) з заданим режимом роботи:  $P_A = f_D(t)$  (А-модель).

4) Обмеження по надлишку енергії, тобто по втратах генерування:  $\min(\max P_A)$ , або

5) Обмеження по дефіциту енергії, тобто по втратах споживання:  $\max(\min P_A)$  (ММ-моделі).

6) Мінімізація вартості обладнання (детермінований критерій):

$$C_W \cdot P_W^0 + C_{PV} \cdot P_{PV}^0 + C_{Ak} \cdot P_{Ak}^0 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $C_x$  – питома вартість відповідного обладнання.

Так, якщо критерієм є собівартість електроенергії, то цільова функція має вигляд:

$$f(T) = \int_0^T \sum_i^N c_i y_i(t) dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $c_i$  – питома вартість одиниці електричної енергії від  $i$ -го генеруючого елемента (чи групи елементів) певного типу;  $y_i(t)$  – кількість одиниць електричної енергії, отриманої від  $i$ -го елемента;  $N$  – кількість елементів;  $T$  – час експлуатації.

Для оцінки інвестиційної привабливості важлива сукупна вартість проекту за весь термін експлуатації; для цього визначають так звану «чисту теперішню вартість» з застосуванням дисконтування капіталу. Генеруюча складова може містити вітрові, сонячні установки, акумулююче обладнання тощо, для яких властиві різні терміни амортизації та рівень експлуатаційних витрат, що важливо враховувати при оптимізації, проте для розрахунку собівартості можна запровадити приведені показники. Адже вироблена електроенергія, як правило, пропорційна номінальній потужності генеруючого обладнання; зазвичай приймається, що вартість обладнання також пропорційна його потужності.

Фізичні обмеження у вигляді рівнянь стану мають вигляд енергетичних характеристик для відповідних джерел, і є детермінованими функціями випадкових величин:

$$- P_W = P_W(v),$$

де  $v(t)$  – поточна швидкість вітру (м/с);

$$- P_{PV} = P_{PV}(\rho),$$

де  $\rho(t)$  – поточна сонячна радіація (Вт/м<sup>2</sup>).

Для акумуляторної батареї фізичні обмеження детерміновані:

$- P_{Ak}^{min} \leq P_{Ak}(t) \leq P_{Ak}^{max}$  – обмеження заряду/розрядки акумулятора;

– крім того,  $P_{Ak}(t+1) - P_{Ak}(t) \leq P'_{Ak}$  – обмеження по швидкості процесу заряду/розрядки.

Традиційна модель потужності СЕС (чи фотомодуля) описується формулою:

$$P_{PV} = \eta_{PV} \cdot A_{PV} \cdot G_t, \quad (4)$$

де  $A_{PV}$  – площа фотопанелей ( $\text{м}^2$ );  $G_t$  – сонячна радіація ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ );  $\eta_{PV}$  – коефіцієнт ефективності, залежний від температури модуля та повітря.

Модель ВЕС (чи вітроустановки) задається кривою потужності  $P_w(V)$ , при цьому швидкість вітру  $V$  ( $\text{м}/\text{с}$ ) перераховується на висоту осі ротора. Як правило, використовується залежність виду:

$$P_w(V) = \begin{cases} p(V), & V \in (V_0, V_m) \\ 0, & V \notin (V_0, V_m) \end{cases} \quad (5)$$

Вироблена електроенергія визначається формулою:

$$E = T \int_0^{\infty} P(x) f_x(x) dx, \quad (6)$$

де  $f_x(x)$  – диференційна функція імовірності розподілу змінної  $x$  (для вітроустановок це швидкість вітру, для фотомодулів – сонячна радіація);  $P(x)$  – потужність як функція координати  $x$ ;  $T$  – загальний час роботи.

В термінах оптимізації гібридної енергосистеми задача мінімізації собівартості електроенергії, наприклад, відноситься до  $M$ -моделі. Інші варіанти  $M$ -задачі – забезпечення певної кількості енергії, якщо режим її надходження несуттєвий. Якщо ж задоволення попиту важливе в кожен момент часу, ставиться задача пошуку мінімальної по вартості конфігурації енергосистеми, що задовольняла б попит, тобто при обмеженні виду:

$$\sum_i^N p_i(t) + SOC(t) \geq p_L(t), \quad (7)$$

де  $N$  – кількість, а  $p_i$  – потужність генеруючих модулів (вітроустановок, фотопанелей);  $SOC$  – стан зарядки акумуляторної батареї;  $p_L$  – потужність навантаження.

У вигляді  $M$ -задачі може формулюватися і потреба в мінімізації втрат споживання ( $LPSP$ -критерій) чи втрат енергії ( $EXC$ -критерій) при фіксованих обмеженнях. Однак слід враховувати, що у випадку гібридних енергосистем на основі ВДЕ втрати енергії чи

споживання спричинені розкидом значень потужності відносно очікуваних значень, тому таку задачу краще формулювати в термінах  $D$ -моделі.  $D$ -задача матиме вигляд: при заданому  $\sigma_x$  потрібно знайти таке  $x_c$ , яке забезпечує мінімальне значення  $\sigma_f$ .

Варіантом  $P$ -задачі є забезпечення нормативної частоти струму. Тут є обмеження імовірнісні і абсолютні. В свою чергу коливання частоти пов'язані з небалансом потужності, тому відповідні умови можуть бути перераховані в терміни потужності стосовно досліджуваної енергосистеми. Умови  $P$ -задачі частіше можуть фігурувати в якості обмеження, оскільки основною цільовою функцією все ж виступають вартісні показники.

Слід зазначити, що часто в задачах стохастичної оптимізації необхідно спостерігати за змінами математичного очікування і дисперсії одночасно, не допускати перевищення ними заданих значень або допускаючи це перевищення з певною імовірністю. Для вирішення цієї проблеми розглядаються моделі зі змішаними умовами (двокритеріальні та багатокритеріальні задачі) [3], що потребуватиме встановлення ієрархії критеріїв в термінах Парето-оптимальності.

Орієнтування на максимальні відхилення балансу енергії при виборі акумуляторних батарей може призвести до економічно невиправданої їх ємності. При оптимізації за критерієм математичного сподівання доцільно виходити з середнього рівня можливого накопичення, а для  $P$ -критерію визначити допустиму імовірність небалансу (надміру чи нестачі потужності). Таким чином, коректне формування вимог до гібридної енергосистеми та вдале формулювання оптимізаційної задачі дозволять забезпечити як економічну привабливість, так і задовільні умови щодо надійності энергозабезпечення споживачів.

Врахування поточного небалансу потужностей вимагає моделювання режимів генерування та споживання енергії як неперервного процесу. При використанні методів типу Монте-Карло елементарною подією може бути реалізація випадкового процесу певної скінченої тривалості, наприклад добова складова флуктуацій як випадкова функція часу [4]. Такий підхід можливий в задачах на оптимізацію інтегральних показників, наприклад вартості чи собівартості. Однак навіть в таких задачах, якщо мова йде про акумулювання енергії чи про комбінування різнотипних джерел енергії, де важливою є послідовність в часі певних значень, бажано розглядати мінімально можливі інтервали часу [5]. На практиці їх тривалість визначається інтервалом вимірювання фактичних значень, що використовуються для статистичної обробки та подальшого математичного моделювання.

*Висновки.* Для вирішення задач стохастичної оптимізації застосовують два види методів: прямі і непрямі.

Прямі методи передбачають безпосереднє рішення задачі, описаної системою стохастичних диференціальних рівнянь. До цих методів можна віднести градієнтні методи, методи усереднень, штрафів і ін. Методи подібного типу є досить складними і громіздкими.

Якщо цільову функцію, використовуючи апарат теорії ймовірностей і математичної статистики, можна задати в явному вигляді в залежності від вектора управління, то застосовують непрямі методи вирішення стохастичних задач. У цьому випадку з'являється можливість зведення задачі стохастичної оптимізації до задачі нелінійного програмування, і розробці алгоритму цього зведення.

Література:

1. *Okinda V. O., Odero N. A.* A review of techniques in optimal sizing of hybrid renewable energy systems // *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2015. Vol. 4, Issue 11. P. 153-163.
2. *Гитман М. Б.* Введение в стохастическую оптимизацию: учеб. пособие. Пермь: ПНИПУ, 2014. 104 с.
3. *Niknam T.* A modified honey bee mating optimization algorithm for multiobjective placement of renewable energy resources // *Applied Energy*. 2011. Issue 88. P. 4817-4830.
4. *Кузнецов М. П.* Побудова математичної моделі режиму споживання електроенергії // *Відновлювана енергетика*. 2017. № 4. С. 33-42.
5. *Лысенко О. В.* Оцінка випадкових властивостей рівнів споживання електроенергії // *Відновлювана енергетика*. 2018. № 1. С. 26-35.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

О. В. Лысенко

**Аннотация** – работа посвящена решению задачи стохастической оптимизации. В качестве критериев оптимизации предложены следующие формулировки: суммарная генерируемая энергия практически равна потребленной, то есть минимизируется математическое ожидание небаланса; значение небаланса мощности должны быть как можно меньшими; наличие резервного источника с заданным режимом работы; ограничения по избытку энергии, то есть по потерям генерирования; ограничения по дефициту энергии, то есть по потерям потребления; минимизация стоимости оборудования.

## OPTIMIZATION TASK RESOLUTION FOR HYBRID POWER SYSTEM

O. Lysenko

### *Summary*

The work is devoted to solving the problem of stochastic optimization. As the optimization criteria, the following formulations are proposed: the total generated energy is practically equal to consumption, that is, the mathematical expectation of the imbalance is minimized; the value of power imbalance should be as low as possible; availability of a backup source with a given mode of work; limit on energy surplus, that is, on generation losses; restrictions on energy shortages, that is, on consumption losses; minimize the cost of equipment. It is determined that in the terms of optimization of the hybrid power system, the task of minimizing the cost of electricity, providing a certain amount of energy, if the mode of its receipt is insignificant, refers to the M-model. In the form of the M-task, the need to minimize consumption losses (LPSP-criterion) or energy losses (EXC-criterion) can be formulated with fixed restrictions. In the case of combined power systems based on RES, energy losses or consumption are caused by the spread of power values relative to the expected values, therefore, it is better to formulate such a problem in terms of the D-model. The option of the P-problem is to provide a standard current frequency. The conditions of the P-problem more often may appear as a constraint, since the main target function is still value figures. It is noted that often in tasks of stochastic optimization it is necessary to observe changes in mathematical expectation and dispersion at the same time, not to allow them to exceed the given values or to admit this excess with a certain probability. For solving this problem models with mixed conditions (two- and multicriteria tasks) are considered.



УДК [621.3:537.212]:662.756.3 DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-216-221

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ВОДИ З КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Назаренко І. П., д. т. н.,

Лобода О. І., к. т. н.,

Діденко О. В., аспірант\*,

Дубініна С. В.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: ettp@tsatu.edu.ua

**Анотація** – представлені результати експериментальних досліджень процесу випарювання води з емульсії «вода в рициновій олії» в електричному полі. Обґрунтовано величини напруги на електродах при різному вмісті води в олії для забезпечення утворення парогазових бульбашок. Розглянуто процес пароутворення, який полягає у виникненні парогазових бульбашок на циліндричних електродах, що дає змогу не тільки видаляти воду з олії, але й використовувати бульбашки для флотаційного очищення рицинової олії.

**Ключові слова** – емульсія, електричне поле, електрод, випарювання, напруга, температура.

*Постановка проблеми.* Рицинова олія являє собою цінний продукт, який використовується в парфумерній промисловості, медицині, електротехніці. Якість її перш за все визначається наявністю в ній залишків не видалених домішок та води.

Однією з операцій технології очищення рицинової олії є додавання до олії води з метою гідратації фосфатидів, білків та інших органічних речовин, що знаходяться в колоїдному стані для наступного вилучення механічними або іншими методами. У зв'язку з тим, що рицинова олія має велику в'язкість, процес очищення супроводжується значними енергозатратами. Особливу складність має видалення остатків вологи після гідратації. Залишки вологи суттєво знижують органолептичні показники олії, і головне – її діелектричні властивості. Тому ефективне очищення рицинової олії від рослинних домішок і води є важливою як господарською, так і науковою проблемою [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Серед відомих методів очищення олій (фільтрація, центрифугування, відстоювання в полі гравітаційної

сили та ін.) [2] можна виділити очищення олій, як діелектричних рідин, в електричному полі [3, 4, 5]. При цьому використовується як поле високої напруженості постійного струму, пульсуюче електричне поле і біжуче поле змінного струму [6, 7, 8]. В роботі [9] запропоновано спосіб очищення рицинової олії від рослинних та механічних домішок в електричному полі, що створюється електродами у вигляді ряду паралельних циліндрів. В такій системі гідратовані частинки рослинних домішок та краплі води під дією діелектрофоретичної сили [8] рухаються до поверхні електродів. На поверхні електродів відбувається процес пароутворення у вигляді дрібних бульбашок. Утворені бульбашки закріплюються на частинках гідратованих рослинних домішок і виносять їх на поверхню олії таким чином здійснюючи її очищення методом флотації. Цей процес залежить від таких факторів як напруга на електродах, вміст води в олії, геометричні параметри системи електродів.

*Мета досліджень* полягає в обґрунтуванні величини напруги на електродах при різному вмісті води в олії на підставі експериментальних досліджень.

*Основні матеріали дослідження.* В експериментальних дослідженнях використано рицинову олію, отриману в лабораторних умовах холодним пресуванням, та очищену медичну рицинову олію.

Експериментальні дослідження проводились на установці, яка складається з камери об'ємом  $500 \text{ см}^3$  (рис. 1), джерела високої напруги (до 7 кВ) для живлення електродної системи та джерела низької напруги (до 5 В) для живлення нагрівача. Джерела живлення на рис. 1 не показані. Нагрівач являє собою дротяний провідник з високоомної сталі, який укладено на дно камери і екрановано металевією сіткою. Електродна система виготовлена зі сталевих стрижнів діаметром 2 мм. Загальна довжина електродів – 1 м, відстань між електродами – 1 см.

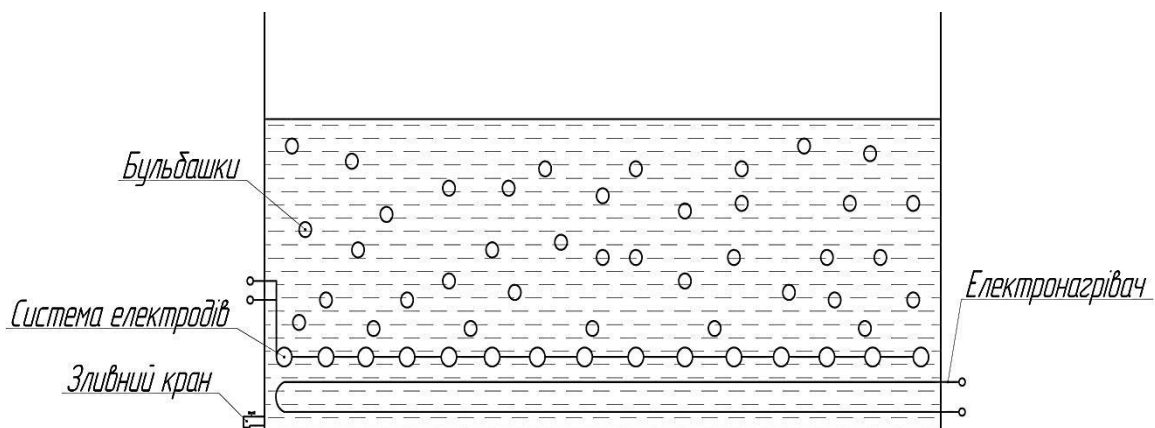


Рис.1. Камера обробки емульсії «вода в олії» в електричному полі великої напруженості.

Як джерело живлення низької напруги для нагрівача використовувався знижувальний трансформатор. Для отримання високої напруги - підвищувальний трансформатор ТСВЗ-1020, який з метою регулювання напруги підключався через лабораторний автотрансформатор. Висока напруга вимірювалась електростатичним вольтметром С-196.

Для проведення експериментальних досліджень були приготовлені емульсії «вода в олії» з вмістом води 1%, 2% і 3%. Емульсія готувалась змішувачем Homognizer MPV-302 протягом 1 хвилини.

Отримана емульсія заливалась в камеру, де підігрівалась електричним нагрівачем поступово від 30 до 100 °С. Температура вимірювалась ртутним термометром і фіксувалась з інтервалом в 10 °С. При кожній з фіксованих температур визначалась напруга на електродах, при якій починався процес виділення парогазових бульбашок на електродах.

На підставі експериментів отримано залежності напруги на електродах, при якій починається випаровування води з виникненням парогазових бульбашок на електродах, від температури емульсії при різному вмісті води в олії: на рис. 2 – для очищеної олії; на рис. 3 – для неочищеної.

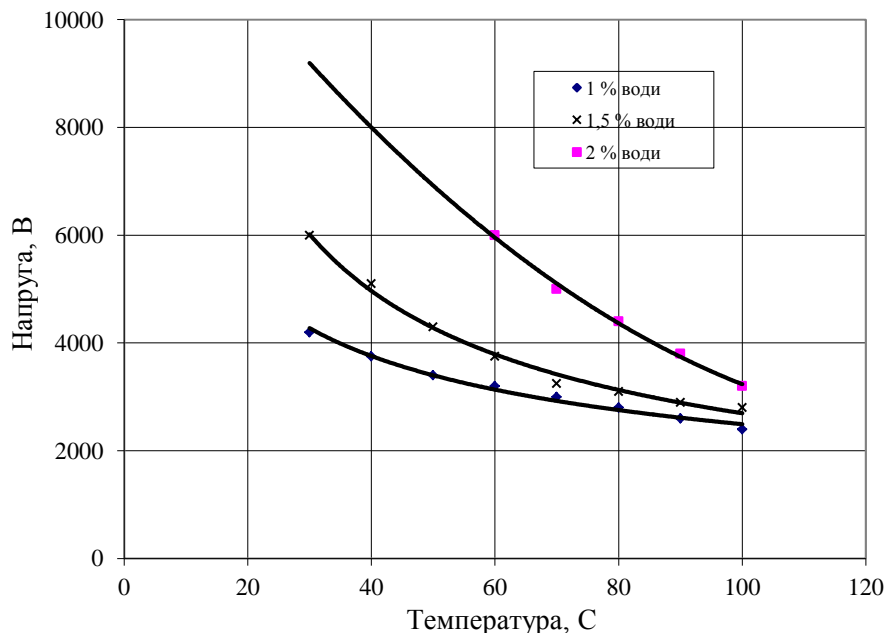


Рис. 2. Залежності напруги початку пароутворення на електродах від температури очищеної олії при різному вмісті води в емульсії «вода в олії».

Аналіз отриманих залежностей показує, що напруга початку виникнення бульбашок зменшується з підвищенням температури. З

підвищенням вмісту води в олії напруга збільшується, що можна пояснити більшими енерговитратами на випарювання.

Зменшення напруги для неочищеної олії (рис. 3) по відношенню до очищеної (рис. 2) пояснюється більш високою електропровідністю неочищеної олії і відповідно більшим Джоулевым тепловиділенням при проходженні струму. Утворення парогазових бульбашок на поверхні електродів пояснюється найбільшою густиною струму поблизу електроду і відповідним питомим тепловиділенням, яке веде до локального нагріву емульсії до величини температури закипання крапель води.

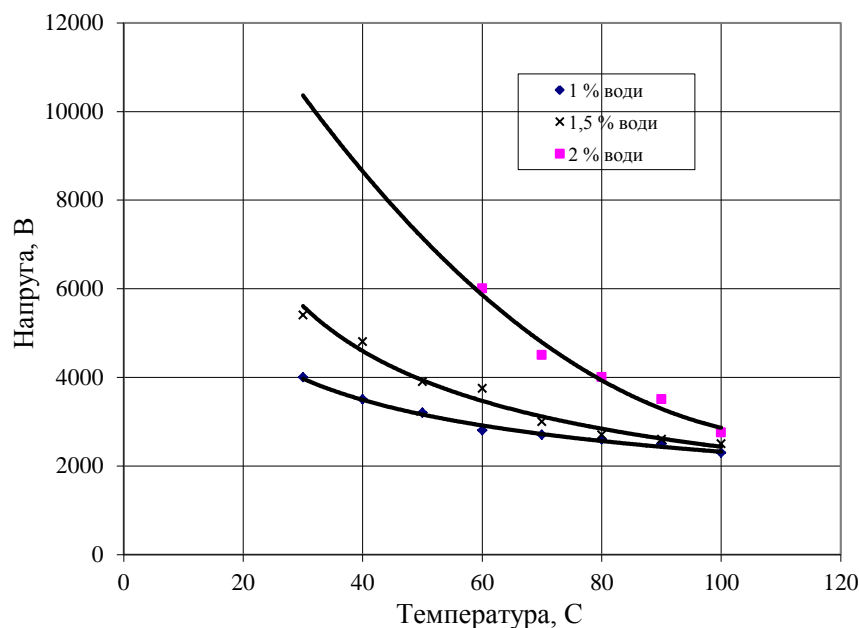


Рис. 3. Залежності напруги початку пароутворення на електродах від температури неочищеної олії при різному вмісті води в емульсії «вода в олії».

*Висновки.* 1. Результати експериментальних досліджень дозволяють визначити технологічні параметри процесу пароутворення в емульсії «вода в олії», зокрема, напругу, при якій починається процес паровиділення на електродах при різних температурах і вмісті води.

2. Процес пароутворення полягає у виникненні парогазових бульбашок на циліндричних електродах, що дає змогу не тільки видаляти воду з олії, але й використовувати бульбашки для флотажного очищення рицинової олії.

Література:

1. ГОСТ 6757-96. Масло касторовое техническое. Технические условия. [Дата введения 1997-01-01]. Москва, 1996. 44 с.

2. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Ленинград: Химия, 1977. 463 с.

3. *Месеняшин А. И.* Электрическая сепарация в силовых полях. Москва: Недра, 1978. 175 с.

4. *Берилл И. И., Болога М. К.* Электросепарация фосфатидов подсолнечного масла // *Электронная обработка материалов.* 1994. № 6. С. 60-63.

5. *Болога М. К., Берилл И. И.* Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле: монография. Молдова: Stinta, 2004. 214 с.: ил.

6. Исследование процесса очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в постоянном электрическом поле / *М. К. Болога* [и др.] // *Электронная обработка материалов.* 2001. № 5. С. 34-39.

7. К теории очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в постоянном электрическом поле / *Ф. П. Гросу* [и др.] // *Электронная обработка материалов.* 2001. № 6. С. 35-40.

8. *Назаренко І. П.* Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 1. С. 35-45.

9. Спосіб очищення рослинної олії : пат. 127279 Україна : МПК (2006): C11B 3/00, B03D 1/008 (2006.01) № а 201801594. заяв.19.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ ИЗ КАСТОРОВОГО МАСЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Назаренко И. П., Лобода А. И., Диденко А. В., Дубинина С. В.

**Аннотация** – представлены результаты экспериментальных исследований процесса испарения воды из эмульсии «вода в рапсовом масле» в электрическом поле. Обосновано величины напряжений на электродах при разном содержании воды в масле для обеспечения образования парогазовых пузырей. Рассмотрен процесс парообразования, который заключается в возникновении парогазовых пузырьков на цилиндрических электродах, что дает возможность не только выделять воду из масла, но и использовать пузырьки для флотационной очистки касторового масла.

## STUDY OF THE PROCESS OF EVAPORATION OF WATER FROM CASTOR OIL IN AN ELECTRIC FIELD

I. Nazarenko, O. Loboda, A. Didenko, S. Dubinina

### *Summary*

**Setting objectives.** Ricinus oil is a valuable product that is used in the perfume industry, medicine, and electrical engineering. Its

quality is primarily determined by the presence of residues of unpolluted impurities and water in it.

One of the operations of the cleaning technology of castor oil is the addition to the oil of water for the purpose of hydration of phosphatides, proteins and other organic substances that are in colloidal state for subsequent extraction by mechanical or other methods. Particular difficulty is the removal of moisture after hydration. The moisture residues significantly reduce the organoleptic characteristics of the oil, and the main thing is its dielectric properties. Therefore, effective cleaning of castor oil from plant impurities and water is important as an economic and scientific problem.

**Research results.** On the basis of experiments, we obtained dependences of the voltage on the electrodes, at which the evaporation of water begins with the appearance of vapor-gas bubbles on the electrodes from the temperature of the emulsion at a different content of water in the oil. Analysis of the obtained dependencies showed that the voltage of the onset of bubbles decreases with increasing temperature. With an increase in the water content in the oil, the voltage increases, which can be explained by higher energy expenditure on evaporation.

Reducing the voltage for untreated oil is explained by the higher electrical conductivity of the crude oil and, consequently, by the higher Joule heat output when the current passes. The formation of vapor-gas bubbles on the surface of the electrodes is explained by the highest current density near the electrode and the corresponding specific heat dissipation, which leads to the local heating of the emulsion to the temperature of boiling water droplets.

**Conclusions.** 1. The results of experimental studies allow to determine the technological parameters of the vaporization process in the emulsion "water in oil", in particular, the voltage at which the process of steam evolution on the electrodes at various temperatures and water content begins. 2. The process of steam formation consists in the emergence of vapor-gas bubbles on cylindrical electrodes, which allows not only to remove water from oil, but also to use bubbles for flotation cleaning of castor oil.

УДК 621.373

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-222-228

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИНХРОНІЗУЮЧОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЛАВИННО-ПРОЛІТНИХ ДІОДАХ

Сілі І. І., к. т. н.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного  
e-mail: ivan.sili@tsatu.edu.ua

**Анотація** – у статті приведені результати роботи по конструюванню синхронізуючого генератора на лавино-пролітних діодах для систем знищення шкідників картоплі, представлено конструкцію генератора у вигляді хвилевідно-штирьової моделі, на основі еквівалентної схеми обчислено параметри хвилевода та лавинно-пролітного арсенід-галієвого діода типу 3А730А. Для виконання вимоги когерентності і стабільності амплітудно-фазових параметрів в імпульсному режимі доцільним є використання зовнішньої синхронізації імпульсних генераторів високостабільним безперервним сигналом. Як джерело вхідного сигналу в роботі запропоновано використовувати генератор на лавинно-пролітних діодах (ЛПД) із стабілізуючим високочастотним об'ємним резонатором прохідного типу.

**Ключові слова** – синхронізуючий генератор, лавинно-пролітний діод, НВЧ випромінювання, імпульсний генератор, р-п перехід, еквівалентна схема, арсенід-галія.

*Постановка проблеми.* Вимоги, що пред'являються до потужності джерел імпульсних коливань для боротьби зі шкідниками картоплі повинні враховувати наступні фактори: період проходження імпульсів, тривалість імпульсів, частоту заповнення імпульсів. Що стосується експозиції, то з урахуванням механізованого знищення шкідників, вона повинна складати одиниці секунд. Таку експозицію можна забезпечити за рахунок величини імпульсної потужності і високої стабільності частоти. Використання генератора з відносною нестабільністю частоти 10<sup>-6</sup>..10<sup>-7</sup>, дозволить забезпечити майже повну (≈ 95%) передачу енергії опромінення біологічній структурі та істотно зменшить час синхронізації [1].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Для виконання вимоги когерентності і стабільності амплітудно-фазових параметрів в імпульсному режимі доцільним є використання зовнішньої синхронізації імпульсних генераторів високостабільним безперервним сигналом [1]. Як джерело вхідного сигналу в роботі запропоновано

використовувати генератор на лавинно-пролітних діодах (ЛПД), із стабілізуючим високодобротним об'ємним резонатором прохідного типу [2].

Джерела електромагнітного випромінювання, які застосовуються в даний час в промисловості працюють в діапазоні частот 1...80 ГГц, але мають високу відносну нестабільність вихідної частоти  $10^{-3}$ ... $10^{-4}$ , високу похибку установки несучої частоти 30...900 МГц, низьку монохроматичність сигналу, малу вихідну потужність 2...5 мВт і тому не можуть бути використані для знищення шкідників картоплі [3].

В даний час найбільш потужними імпульсними напівпровідниковими джерелами НВЧ діапазону є арсенід-галієві лавинно-пролітні діоди [4, 5]. Вибір в якості активного елементу ЛПД визначається тим, що при його використанні реалізуються найбільші рівні імпульсні потужності, близько 60 Вт в сантиметровому діапазоні при  $Q \geq 50$ ...1000 і  $\tau_i < 0,2$  мкс. Ці рівні потужності вище ніж у діодів Ганна і приблизно на порядок вище ніж у найбільш ефективних транзисторів НЕМТ, рНЕМТ [6, 7].

*Формулювання цілей статті.* Проаналізувати можливість та ефективність застосування хвилевідно-штирьовою конструкції синхронізуючого генератора імпульсної дії на лавино-пролітних діодах в системах опромінення та знищення шкідників картоплі, математично обчислити основні конструктивні параметри синхронізуючого генератора та на основі еквівалентної схеми розрахувати конструктивні параметри хвилеводу та енергетичні показники лавинно-пролітного діоду.

*Основна частина.* Стабілізуючий генератор виконаний у вигляді хвилевідно-штирьової конструкції перетином  $11 \times 4$  мм<sup>2</sup>. Діод ЛПД кріпитися в хвилеводі з використанням металевого круглого стержня 2, вісь якого паралельна вектору ЕП (в прямокутному хвилеводі поширюється хвиля Н10). Для запобігання можливих паразитних коливань в межах дії перебудови в ланцюг живлення діода включено навантаження 3. В якості зовнішнього стабілізуючого резонатора використовується циліндричний резонатор 5, що працює на ТЕ011 типі коливань і включений за схемою «на прохід». Зв'язок резонатора з хвилеводною конструкцією здійснюється через отвори зв'язку 4 (рис. 1) [8].

Перебудова частоти резонатора здійснюється безконтактним поршнем. На рис. 2 приведена еквівалентна схема синхронізуючого генератора на лавинно-пролітних діодах (ГЛПД).

В еквівалентній схемі металевий стрижень для кріплення діода замінений Т-подібною еквівалентною схемою. Еквівалентні параметри стержня представлені реактивностями  $jX_a$ , та  $-jX_c$ , які визначаються розмірами стержня і розмірами хвилеводу.



ЛПД генератора представлений елементами  $R_{p-n}$  і  $X_{p-n}$ , величина яких визначається розрахунковим шляхом. Зовнішній стабілізуючий резонатор характеризується елементами  $L_p$ ,  $C_p$ ,  $G_p$ . Відстань від осі струмопровідного штиря до площини отвору зв'язку враховано відрізком довжиною лінії  $l_1$ .

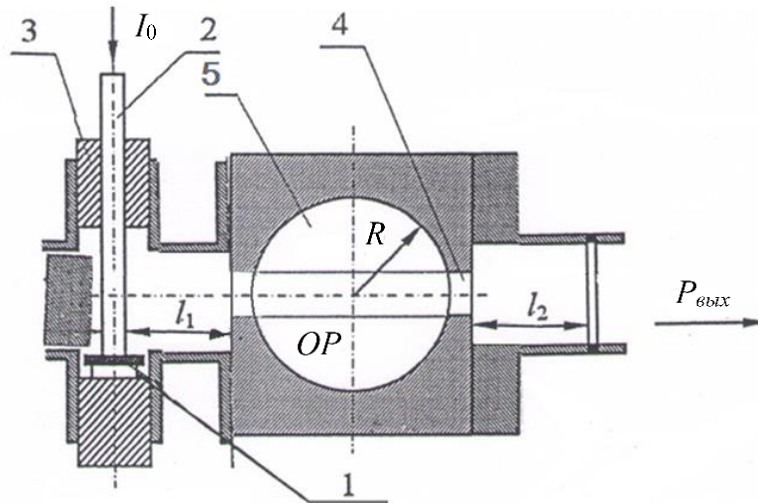


Рис. 1. Ескіз конструкції генератора зі стабілізуючим об'ємним резонатором.

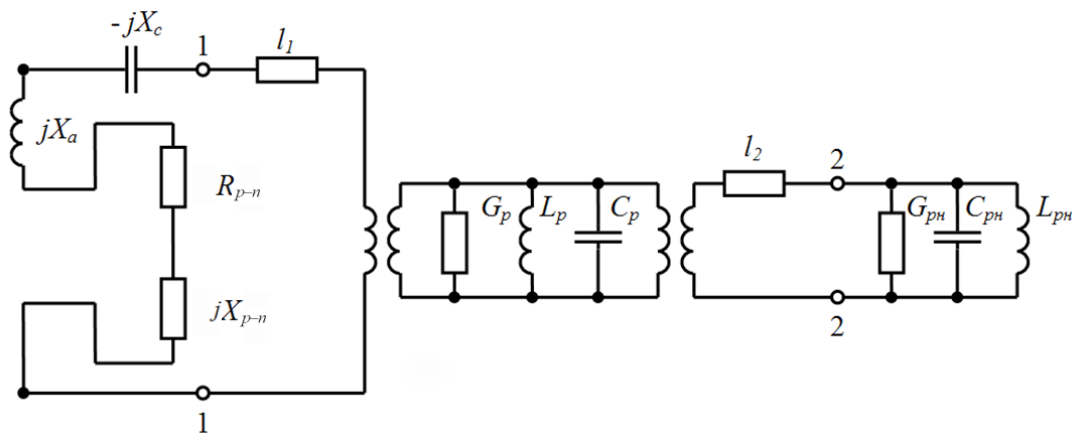


Рис. 2. Еквівалентна схема генератора з зовнішнім стабілізуючим резонатором.

Навантаженням генератора є резонансна багатодіодна електродинамічна система, яка характеризується елементами  $L_{pn}$ ,  $C_{pn}$ ,  $G_{pn}$ . У разі, коли всі діоди включені в пучність ЕП підсумовуючого резонатора, коефіцієнт трансформації можна вважати рівним одиниці. Відстань від отвору зв'язку резонатора до площини навантаження враховано відрізком довжиною лінії  $l_2$ . Еквівалентні параметри стержня були визначені з виразів [8]:

$$\frac{X_a}{Z_0} - \frac{X_c}{2Z_0} = \frac{a}{2\lambda_g} \left[ S_0 - \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^2 - \frac{5}{8} \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 - 2 \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 \left( S_2 - 2S_0 \frac{\lambda^2}{\lambda_g^2} \right)^2 \right]; \quad (1)$$

$$\frac{X_c}{Z_0} \approx \frac{a}{\lambda_g} \frac{\left(\frac{\pi d}{a}\right)^2}{1 + \frac{11}{24} \left(\frac{\pi d}{a}\right)^2}; \quad (2)$$

$$S_0 = \ln \frac{4a}{\pi d} - 2 + 2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda}\right)^2}} - \frac{1}{n} \right]; \quad (3)$$

$$S_2 = \ln \frac{4a}{\pi d} - \frac{5}{2} + \frac{11}{3} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 - \left(\frac{\lambda}{a}\right)^2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[ \sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda}\right)^2} - n + \frac{2}{n} \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 \right]; \quad (4)$$

де  $Z_0$  – характеристичний опір хвилевода;

$\lambda_g$  – довжина хвилі в хвилеводі;

$\lambda$  – довжина хвилі в вільному середовищі;

$\lambda_{кр} = 2a$ ;  $a = 11$  мм;  $b = 4$  мм;  $d = 0,5$  мм;  $\lambda = 15$  мм;

$Z_0 = 185$  Ом;  $\lambda_g = 20,4$  мм;  $X_a = 68,4$  Ом;  $X_c = 1,85$  Ом.

В свою чергу характеристичний опір хвилевода визначається за формулою [8]:

$$Z_0 = \frac{b}{a} \frac{120\pi}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}. \quad (5)$$

Довжину хвилі в хвилеводі можна визначити за [8]:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}}. \quad (6)$$

Для визначення параметрів діода синхронізуючого генератора скористаємося методикою, наведеної в роботах [1,9] для режиму слабкого сигналу. Спрощена еквівалентна схема ЛПД з урахуванням втрат у базі транзистора наведена на рис. 3.

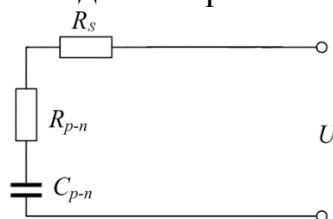


Рис. 3. Еквівалентна схема діода.

Елементи в еквівалентній схемі мають наступне призначення:  $C_{p-n}$  – ємність  $p-n$  переходу;  $R_s$  – опір втрат у базі і контурах діода.

В режимі слабого сигналу активна  $R_{p-n}$  і реактивна  $X_{p-n}$  складові опору  $p-n$  переходу діода визначаються виразами [8, 9]:

$$R_{p-n} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot \left(1 - \frac{l_{\delta}}{l_w}\right) \cdot \frac{\beta_n^2}{1 - \beta_n^2 + \delta^2} \cdot [(1 - \beta_n^2) \cdot \xi(\theta) - \delta \cdot \lambda(\theta)]; \quad (7)$$

$$X_{p-n} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot \left\{1 + \frac{\beta_n^2}{(1 - \beta_n^2) \cdot \delta} \cdot \left(1 - \frac{l_{\delta}}{l_w}\right) \cdot [\delta \cdot \xi(\theta) + (1 - \beta_n^2) \cdot \lambda(\theta)]\right\}. \quad (8)$$

Розрахункові залежності опору діода 3A760 приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахункові залежності параметрів ЛПД 3A730A для різних робочих струмів і частоти 20 ГГц

$I_0$ , мА	160	170	180
$\beta_n^2$	0,63	0,67	0,71
$R_{p-n}$ , Ом	-2,94	-2,56	-2,0
$X_{p-n}$ , Ом	-70,4	-76,16	-83,2

Розрахунок імпеданса проводили для ЛПД типу 3A760 з параметрами: ємність  $p-n$  переходу  $C_{p-n} = 0,23$  пФ;  $\nu = 10^7 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ ;  $\theta = 180^\circ$ ;  $l_w = 1,2$  мкм;  $l_{\delta} = 0,3$  мкм;  $\delta = 0,4$ ;  $\tau_{\delta} = 0,3 \cdot 10^{-11}$  с;  $\varepsilon = 12$ ;  $N = 7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $\theta = 180^\circ$ ;  $l_w = 1,2$  мкм;  $l_{\delta} = 0,3$  мкм;  $\delta = 0,4$ ;  $\tau = 2,5 \cdot 10^{-11}$  с;  $\varepsilon = 12$ ;  $N = 7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .

*Висновки.* В результаті проведеної роботи було розроблено та запропоновано конструкцію синхронізуючого генератора, де в якості основного джерела НВЧ випромінювання обрано арсенід-галієві лавинно-пролітні діоди. Стабілізуючий генератор виконаний у вигляді хвилевідно-штирьової конструкції перетином  $11 \times 4$  мм<sup>2</sup>. Діод ЛПД запропоновано закріпити в хвилеводі з використанням металевого круглого стержня, вісь якого паралельна вектору ЕП. В якості зовнішнього стабілізуючого резонатора використовується циліндричний резонатор, що працює на ТЕ011 типі коливань і включений за схемою «на прохід».

За розробленою еквівалентною схемою визначені параметри діода синхронізуючого генератора для режиму слабого сигналу. Розрахункові залежності представлені в таблиці 1.

Даний синхронізуючий генератор слід використовувати в системах знищення шкідників картоплі як джерело зовнішньої синхронізації високостабільним безперервним сигналом.

## Література:

1. *Касаткин Л. В., Чайка В. Е.* Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн. Севастополь: Вебер, 2006. 319 с.
2. *Сили И. И.* Применение информационно-энергетических излучений для угнетения репродуктивной способности колорадского жука // Проблемы энергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: матеріали наук.-практ. студ. конф. (м. Харків, 2 квітня 2015 р.) Харків, 2015. С. 47-49.
3. *Старостенко В. В.* Воздействие мощных импульсных полей на биологические объекты и среды // Радиофизика и электроника. 2002. Т. 7, № 1. С. 158-161.
4. *Сили И. И., Черенков А. Д.* Параметры и стабильность частоты диодного генератора с резонатором проходного типа // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2015. № 9. С. 53–59.
5. *Zhang W., Oehme M., Kosteki K.* S-parameter based device-level C-V measurement of p-i-n single-drift IMPATT diode for millimeter-wave applications // IEEE. 2016. P. 53–65. DOI: 10.1109/IEEE-IWS.2016.7585419.
6. *Midford T. A., Bernick R. L.* Millimeter wave CW IMPATT diodes and oscillators // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1979. Vol. 27. P. 483–492.
7. *Губанов В. П., Коровин С. Д., Пегель И. В.* Генерация мощных наносекундных импульсов электромагнитного излучения // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20, № 14. С. 89-93.
8. *Сілі І. І.* Енергоінформаційна радіоімпульсна біотехнологія і електронні системи знищення шкідників картоплі : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17. Харків, 2015. 159 с.
9. *Тагер А. С., Вальд-Перлов В. М.* Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. Москва: Советское радио, 1968. 480 с.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОНИЗИРУЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА НА ЛАВИННО-ПРОЛЕТНЫХ ДИОДАХ

Сили И. И.

**Аннотация** – в статье приведены результаты работы по конструированию синхронизирующего генератора на лавинно-пролетных диодах для систем уничтожения вредителей картофеля, представлено конструкцию генератора в виде волноводно-штыревой модели, на основе эквивалентной схемы определены параметры волновода и лавинно-пролетного арсенид-галиевого диода типа 3А730А. Для выполнения требования когерентности и стабильности амплитудно-фазовых параметров в импульсном режиме целесообразным является использование

**внешней синхронизации импульсных генераторов высокостабильным непрерывным сигналом. В качестве источника входного сигнала в работе предложено использовать генератор на лавинно-пролетных диодах со стабилизирующим высокодобротным объемным резонатором проходного типа.**

## **PARAMETERS CALCULATION OF SYNCHRONIZED GENERATOR BASED ON IMPATT DIODES**

I. Sili

### *Summary*

**This article presents the results of the development the synchronized generator based on IMPATT diodes for potato pest extermination systems. Paper presents the generator`s design in the waveguide-pin model form. Based on the equivalent diagram, the parameters of the waveguide and IMPATT arsenide-gallium diode 3A730A type are calculated. It makes sense to use external synchronization of pulsed generators with a highly stable continuous signal in order to meet the requirements of coherence and stability of amplitude-phase parameters in a pulsed mode. Also, in article were proposed to use an oscillator on IMPATT diodes as a source of input signal, with a high-quality stabilizing pass-through volume resonator.**

**The requirements for the power source of impulse oscillations to combat with the Colorado beetles must take into account the following factors: the period of passage pulses, the duration of pulses, the frequency of filling impulses. Applying a generator with a relative instability frequency of  $10^{-6} \dots 10^{-7}$ , will allow to provide a complete ( $\approx 95\%$ ) transmission of radiation energy to the biological structure and significantly reduce synchronization time.**

**The sources of electromagnetic radiation currently used in medicine and industry operate in the frequency range of 1 ... 80 GHz but have a high relative instability of the output frequency of  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  and a low output power of 2 ... 5 mW, and therefore can not be used to destroy the Colorado beetle.**

**Now days, the most powerful pulsed semiconductor sources of the microwave range are arsenide-galilean IMPATT diodes. The choice on an active element based on IMPATT diodes is determined by the fact that when it is used, the largest levels of pulsed power are realized, about 60 W in a centimeter range at  $Q \geq 50 \dots 1000$  and  $\tau_i < 0.2$  ms. These power levels are higher than the Gunn diodes and about an order of magnitude higher than the most efficient HEMT transistors, pHEMT.**

УДК 621.316.926

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-229-236

## ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Курашкін С. Ф., к. т. н.,

Попова І. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
*e-mail: etem@tsatu.edu.ua*

**Анотація** – експлуатація асинхронних електродвигунів у складі електромеханічної системи передбачає підтримання їх надійності на рівні, що забезпечить довготривалу роботу, не менш за нормований термін служби, який гарантований виробником. Найбільш уразливим елементом конструкції електродвигуна є його обмотка взагалі, і зокрема її ізоляція. Для підвищення експлуатаційної надійності електродвигунів розробники проектують нові пристрої захисту, оскільки з часом оновлюється елементна база електронних компонентів, що дає можливість застосовувати новітні методи для рішення задач, котрі неможливо було вирішити раніше. У роботі висунуті вимоги, яким повинен задовольняти пристрій захисту групи електродвигунів і розроблена його структурна і принципова схеми. Основою пристрою є мікроконтролер, який обчислює час припустимої роботи кожного електродвигуна, що входить до групи захисту, в разі його перевантаження, коли збільшення температури обмотки перевищує критичного рівня. Відключення групи електродвигунів відбувається не одразу, а після розрахованої мікроконтролером витримки часу за умови припустимої витрати ресурсу ізоляції. В пристрої застосовуються перетворювачі температури, побудовані на базі аналогу лямбда-діоду.

**Ключові слова** – лямбда-діод, захист електродвигуна, діагностування, витрата ресурсу ізоляції, асиметрія напруги, час припустимої роботи, надійність.

*Постановка проблеми.* Розвиток електромеханічних систем приводить до ускладнення структури, через що підвищуються вимоги щодо оцінки їх поточного технічного стану і експлуатаційної надійності.

Складно оцінювати поточний технічний стан силового електрообладнання та забезпечувати раннє запобігання можливим аварійним ситуаціям унаслідок прихованих дефектів або

непрогнозованого експлуатаційного впливу. Тому, в основі сучасних засобів безперервного технічного діагностування і захисту силового електроустаткування застосовують методи, засновані на використанні математичних моделей. Моделювання, звичайно, не може врахувати всі можливі чинники, що ведуть до розвитку пошкоджень електрообладнання, але в значній мірі близько описує фізичні процеси, що відбуваються в ньому. Це позначається на поліпшенні техніко-економічних показників функціонування електромеханічних систем в цілому.

Зі всього парку асинхронних електродвигунів, що знаходяться в експлуатації, більше 60% виробило свій ресурс [1]. У зв'язку з цим, необхідно більш ретельно контролювати експлуатаційні режими роботи силового електрообладнання та його поточний технічний стан, а також застосовувати нові технічні засоби діагностування і захисту. Це дозволить продовжити ресурс роботи електроустаткування з врахуванням індивідуальних особливостей динаміки старіння ізоляційних властивостей матеріалів, які застосовуються в його конструкції.

Все вказує на необхідність розробки діагностичних моделей, методів і пристроїв для оцінки можливості роботи силового електрообладнання на підставі поточного технічного стану і експлуатаційного впливу.

*Аналіз останніх досліджень.* Більша кількість існуючих пристроїв захисту асинхронних електродвигунів від анормальних режимів, як правило, передбачає індивідуальний захист. Отже, у разі застосування подібних пристроїв для захисту групи електродвигунів, що входять до складу технологічної лінії, або іншої електромеханічної системи підвищуються капіталовкладення на організацію поточного технічного діагностування. Для їх зменшення замовник вимушений застосовувати більш дешеві пристрої захисту, обмежені за функціоналом, або обходитися традиційними методами із застосуванням автоматичних вимикачів і теплових реле.

Раніше було встановлено [2], що швидкість теплового зносу ізоляції  $\varepsilon$  електродвигуна залежить від механічної характеристики робочої машини, коефіцієнту несиметрії напруги за зворотною послідовністю  $k_{U2\%}$  та коефіцієнту завантаження робочої машини  $k_z$ .

Під час несиметрії напруги живлення зменшується обертаючий момент електродвигуна, в наслідок чого зростають фазні струми, підвищується нагрів обмотки статора і тепловий знос ізоляції.

Під час застосування індивідуальних пристроїв захисту не враховується залежність його параметрів від несиметрії напруги, завантаження робочої машини, особливості її механічної характеристики тощо. Критерієм оцінювання режиму роботи, як правило, є сила струму, іноді температура обмотки статора.

Результатом роботи існуючих пристроїв захисту є відключення електродвигуна під час виконання технологічного процесу, що веде до збільшення експлуатаційних витрат. Не використовується такий об'єктивний показник, як припустимі витрати ресурсу ізоляції обмотки електродвигуна, тому при розробці нових пристроїв діагностування і захисту доцільно припиняти роботу електроприводу у разі глибокої несиметрії напруги, контролюючи припустимі витрати ресурсу ізоляції.

*Формулювання цілей статті* – розробка пристрою захисту групи асинхронних електродвигунів з контролем несиметрії напруги живлення за напругою зворотної послідовності з урахуванням впливу перевищення температури статорних обмоток. Критерієм діагностування експлуатаційного режиму роботи електромеханічної системи є припустимі витрати ресурсу ізоляції електродвигунів.

*Основна частина.* З огляду на важність оцінювання експлуатаційного режиму роботи і впливу на швидкість теплового зносу ізоляції електродвигунів несиметрії напруги живлення з урахуванням перевищення температури їх обмоток, можна висунути вимоги до пристрою захисту групи асинхронних електродвигунів:

- контроль напруги зворотної послідовності мережі живлення технологічної лінії;
- контроль перевищення температури обмоток кожного двигуна;
- світлова сигналізація про досягнення несиметрії напруги граничного припустимого значення;
- відключення технологічної лінії при досягненні перевищення температури обмотки електродвигуна у межах припустимого значення;
- світлова індикація режимів роботи контрольованих асинхронних двигунів.

Згідно з цими вимогами складена структурна схема пристрою захисту, яка наводиться на рис. 1. Пристрій передбачає захист групи з п'яти асинхронних електродвигунів, але їх кількість може бути як зменшена, так і збільшена.

Основою пристрою є мікроконтролер МК, до якого поступає інформація з одного боку від фільтру напруги зворотної послідовності ФЗНП, а з іншого – через фільтр Ф від первинних перетворювачів температури, виконаних на базі аналогу лямбда-діоду АЛД1-АЛД2 і перетворювачів температури ПТ1-ПТ5. Сигнал мікроконтролера подається до блоку керування та сигналізації БКС.



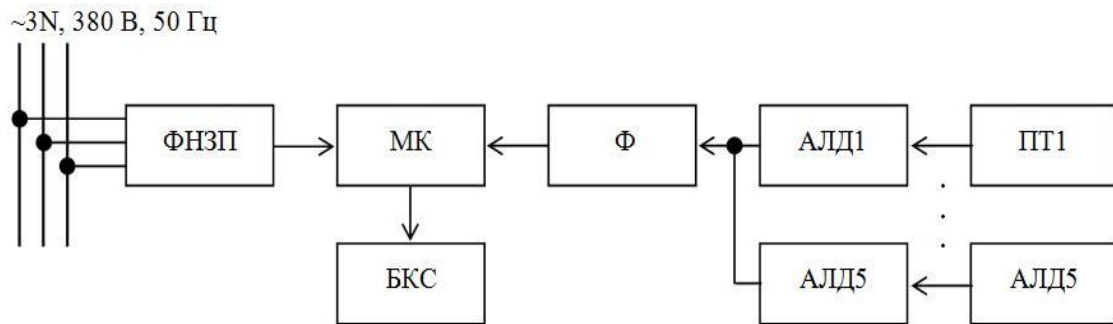


Рис. 1. Структурна схема пристрою захисту.

За структурною схемою складена принципова електрична схема пристрою захисту групи електродвигунів – вона наведена на рис. 2.

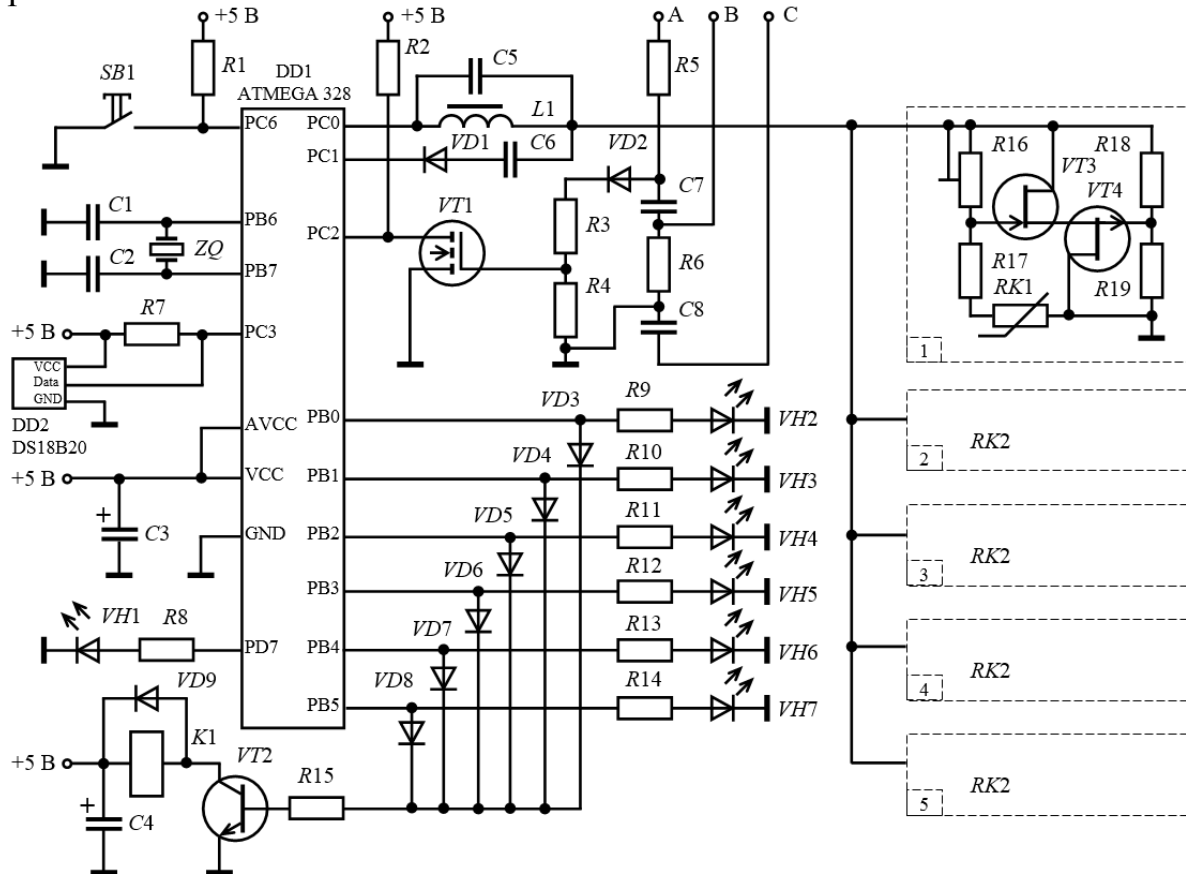


Рис. 2. Принципова схема пристрою захисту.

Основою пристрою захисту є мікроконтролер ATMEGA328P-PU DD1 [3], до аналогового порту ADC0 (PC0) якого через резонансний фільтр-пробку  $L1-C5$  підключені перетворювачі температури, виконані на аналогії лямбда-діоду (АЛД).

АЛД складається з пари польових транзисторів  $VT3, VT4$  і резистивного містка, до одного плеча якого включений позистор  $RK1$ , вбудований в лобову частину обмотки статора електродвигуна.

Застосування нелінійного резистора  $RK1$  дає змогу впливу температури обмотки на ширину вольт-амперної характеристики (ВАХ) АЛД (рис. 3). Зі зміною ширини ВАХ відбувається зміна напруги відсічки, при якій транзистори закриваються і АЛД не проводить струм.

При температурі обмотки  $21^{\circ}\text{C}$  напруга запирання АЛД дорівнює 6 В, а при збільшенні температури до  $100^{\circ}\text{C}$  напруга підвищується до 22 В [4].

Застосування позисторів на відміну від термісторів дає меншу похибку, оскільки їх температурний коефіцієнт опору  $\alpha = 15\text{-}50\%/^{\circ}\text{C}$ , в той час як у термісторів  $\alpha = 4\text{-}8\%/^{\circ}\text{C}$ . Це дає можливість контролю одночасно декількох об'єктів, що і застосовано у пропонованому пристрої захисту групи електродвигунів.

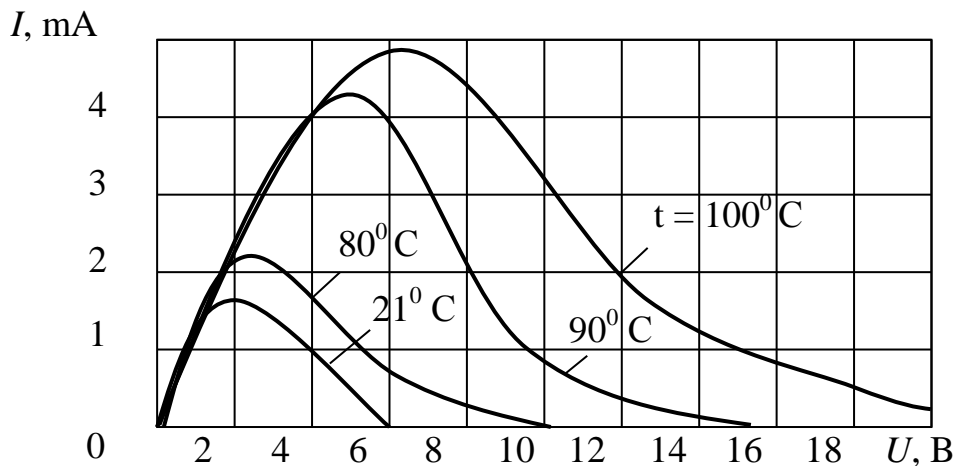


Рис. 3. Вольт-амперна характеристика аналогу лямбда-діоду.

Напруга заданої частоти на аналоговому порту PC0 має ступінчасту форму. Кожний рівень цієї напруги відповідає своєму перетворювачу температури. При досягненні температурою обмотки статора, наприклад, першого електродвигуна припустимого значення, ВАХ перетворювача температури зміщується вправо і напруга відсічки, що дорівнює пороговому значенню  $U_{\text{пл}}$ , викликає в контурі  $L1\text{-}C5$  гармонічні синусоїдні коливання. Ця змінна напруга через конденсатор  $C6$  і діод  $VD1$  поступає до аналогового входу ADC2 (PC1).

З цього моменту мікроконтролер обчислює час припустимої роботи електродвигуна за умови припустимої витрати ресурсу ізоляції електродвигуна [5]

$$t_{np} = T \ln \frac{\tau_y}{\tau_y - \tau_{np}}, \quad (1)$$

де  $T$  – стала часу нагріву електродвигуна, с;

$\tau_y$  – усталене перевищення температури електродвигуна, °С;  
 $\tau_{np}$  – припустиме значення перевищення температури, °С.

В залежності від номера електродвигуна, перевищення температури якого досягло припустимого значення, з'являється напруга на виходах PВ0-РВ4 мікроконтролера DD1 і один з світлодіодів VH2-VH6, відповідний номеру двигуна сигналізує про цю ситуацію. Одночасно з цим, відчиниться транзистор VT2 і котушка реле K1 отримає живлення, її контакт відключить живлення групи електродвигунів.

Контроль повнофазного режиму здійснюється за допомогою фільтру ФЗНП, який виконаний на елементах R5-C7-R6-C8. При обриві однієї з фаз на виході ФЗНП з'являється напруга 225 В, яка падає на резистивному ділянці R3-R4 і відчиняє польовий транзистор VT1. При цьому напруга на вході ADC3 (PC3) приймає низький рівень, що сприймається мікроконтролером як неповнофазний режим роботи навантаження, про що сигналізує світлодіод VH7. Разом з цим аналогічно випадку з перевищенням температури спрацьовує реле K1.

Для обчислення перевищення температури в пристрої захисту передбачено датчик температури DD2 типу DS18B20 [6], данні з якого передаються за протоколом 1-Wire до входу ADC3 (PC3). Він вимірює температуру навколишнього середовища.

Контроль роботи пристрою здійснюється за допомогою світлодіода VH1. Скидання пристрою після спрацювання здійснюється за допомогою кнопки SB1.

*Висновок.* Розроблений пристрій захисту дозволяє підвищити експлуатаційну надійність групи електродвигунів за рахунок безперервного діагностування експлуатаційних режимів роботи. Це дозволить зменшити експлуатаційні витрати і підвищити термін їх служби.

#### Література:

1. *Ahyoev J., Manusov V.* Technical diagnostics of electric equipment with the use of fuzzy logic models // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 792: Energy Systems, Materials and Designing in Mechanical Engineering. P. 324–329.
2. *Попова І. О., Грищенко О. К.* Аналіз впливу асиметрії напруги на процес теплового іносу ізоляції асинхронних електродвигунів // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Мелитополь, 1998. Вып. 1, т. 8. С. 14-18.
3. ATmega328P. 8-bit AVR Microcontroller Programmable Flash. Atmel Corporation. / Rev.: 7810D–AVR–01/15. 2015. [Online]. Available:

[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf).

4. *Попова І. О., Курашкін С. Ф.* Визначення можливостей перетворювача на основі аналога лямбда-діода за допомогою вольт-амперних характеристик // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/29> (дата звернення: 2.02.2019).

5. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.

6. DS18B20. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Maxim Integrated Products, Inc. 2018. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Курашкін С. Ф., Попова І. А.

*Аннотація* – експлуатація асинхронних електродвигателів в складі електромеханічної системи передбачує підтримку їх надійності на рівні, який забезпечить їх довготривалу роботу не менше нормованого підприємством-виробником гарантованого терміну служби. Найбільш вразливим елементом конструкції електродвигателя є його обмотка взагалі, і її ізоляція в частині. Для підвищення експлуатаційної надійності електродвигателів розробники проектували нові пристрої захисту, оскільки з часом елементна база електронних компонентів оновлюється, що дає можливість застосовувати нові методи вирішення завдань, які раніше було неможливо виконати. В роботі висунуто вимоги, якими повинен задовольняти пристрій захисту групи електродвигателів, розроблено його структурну і принципову схеми. Основним пристроєм є мікроконтролер, який розраховує час допустимої роботи кожного електродвигателя, що входить в групу захисту, в разі його перегріву, коли підвищення температури обмотки перевищує критичний рівень. В пристрої застосовуються перетворювачі температури, побудовані на базі аналога лямбда-діода.

## DEVICE TO PROTECT A GROUP OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

S. Kurashkin, I. Popova

### *Summary*

Operation of asynchronous electric motors in the composition of the electromechanical system provides for maintaining their reliability at a level that will ensure their long-term operation of the guaranteed service life not less stated by the manufacturer. However, during operation, asynchronous electric motors are influenced by various operational factors or their combinations, not taken into account by the manufacturer, which may lead to their premature failure. The most vulnerable structural element of an electric motor is its winding in general and its insulation in particular. If we take the insulation service life, guaranteed by the manufacturer as the base, then it can be worked out much faster. A number of factors affect the rate of insulation deterioration, but somehow their main part leads to an increase in winding temperature and deterioration of its insulating properties. To improve the operational reliability of electric motors, the developers are designing new protection devices, since over time the element base of electronic components is updated, which makes it possible to apply new methods for solving problems that could not be done before. For example, the appearance of programmable microprocessors made it possible to embody the results of modeling physical processes that occur in an electric motor, in the form of mathematical models by which the microprocessor calculates them and, in accordance with the result, decides whether or not an electric drive can work. The work put forward the requirements that must be met by the protection device of a group of electric motors and its structural and schematic diagrams are developed. The basis of the device is a microcontroller, which calculates the permissible operation time of each electric motor included in the protection group in case of overload, when the winding temperature exceeds the critical level. The disconnection of electric motors group does not occur immediately, but after a time delay calculated by the microcontroller, provided that the isolation resource is allowed to flow. The device uses temperature transducers based on the lambda diode analogue.

*КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ*

УДК 514.182.7:519.651

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-237-247

**ДИСКРЕТНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ДПК ДОВІЛЬНОЇ  
КОНФІГУРАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИРАХУВАННЯ СУМ**

Івженко О. В., к. т. н.,

Шрамко О. В.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-68-62, 42-68-44

**Анотація** – дану роботу виконано в рамках дослідження питань дискретного геометричного диференціювання, коли значення похідних вибирається за умови відсутності осциляції. Зазначено, що погоджене згущення побудованих дискретно представлених кривих (ДПК) на основі інтегрально - диференціальних зв'язків та побудова точок згущення на наступному та вихідному графіку інтегралу за умови відсутності осциляції має велике значення при розв'язання задач дискретного геометричного моделювання.

Пропонований метод дозволяє оцінювати змінну складову при аналізі і прогнозуванні природних явищ і процесів. Це сприяє проведенню якісного геометричного моделювання явищ і процесів на основі побудови адекватних математичних моделей.

**Ключові слова** – дискретно представлена крива (ДПК), таблиця сум, подвійний інтеграл, екстремум, інтегрально – диференціальний зв'язок, осциляція.

*Постанова проблеми, аналіз останніх досліджень та формулювання цілей статті.* У попередніх дослідженнях [1-3] розглядалися питання дискретного диференціювання, коли значення похідних не розраховуються, а вибираються за умови відсутності осциляції. Але погоджене згущення побудованих ДПК на основі інтегрально - диференціальних зв'язків та побудова точок згущення на наступному та вихідному графіку інтегралу за умови відсутності осциляції має велике значення при розв'язання задач дискретного геометричного моделювання [1]. Метою статті є викладення способу дискретного інтегрування шляхом складання таблиці сум на основі ординат вихідних ДПК.

*Основна частина.* Як відомо [4,5], якщо продовжити таблицю скінчених різниць (а це дискретні аналоги похідних) уліво, то

одержимо таблицю сум. Ця таблиця буде зворотною до диференціювання - інтегруванням. Надалі ми її будемо називати таблицею сум.

Таблиця 1 – Приклад побудови інтегрованої ДПК за допомогою таблиці сум.

$X$	$Y$	$\Sigma Y$	$\Sigma\Sigma Y$
0	-8	0	0
1	-5	-5	-5
2	-2	-7	-12
3	0	-7	-19
4	1	-6	-25
5	4	-2	-27
6	9	7	-20
7	15	22	2
8	17	39	41
9	20	59	100
10	19	78	178

Звернемо увагу на розрахункові формули табл. 1. Очевидно, що

$$\bar{y}_{i+1} - \bar{y}_i = y_{i+1} \cdot h, \quad (1)$$

де  $\bar{y}_{i+1}$ ,  $\bar{y}_i$  – ординати точок ДПК 1-го інтегралу;

$y_{i+1}$  – ордината точки вихідної ДПК;

$h$  – крок сітки.

Як бачимо, формула (1) є формулою правих прямокутників чисельного інтегрування, а табл. 1 побудована на основі цієї формули при  $h=1$  і початкових значеннях  $\bar{y}_0 = \underline{y}_0 = 0$ , де  $\underline{y}_j$  – ординати точок 2-го інтегралу,  $j = \overline{0;n}$ .

Графік вихідної ДПК (рис.1). Графік, першого інтегралу від вихідної ДПК (рис. 2), побудований на основі таблиці 1 вирахування сум (початкова точка інтегрування по осі  $Y=0$ ).

Графік, подвійного інтегралу від вихідної ДПК (рис. 3), побудований на основі таблиці сум.

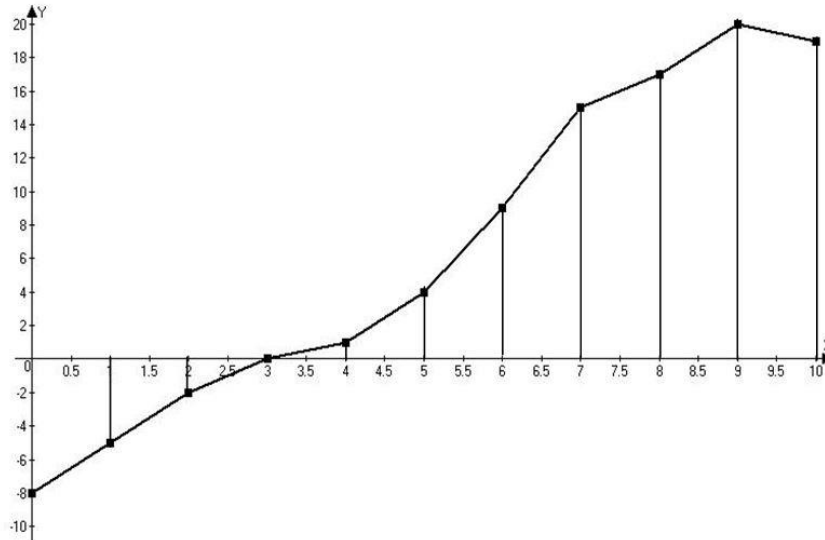


Рис. 1. Графік вихідної ДПК.

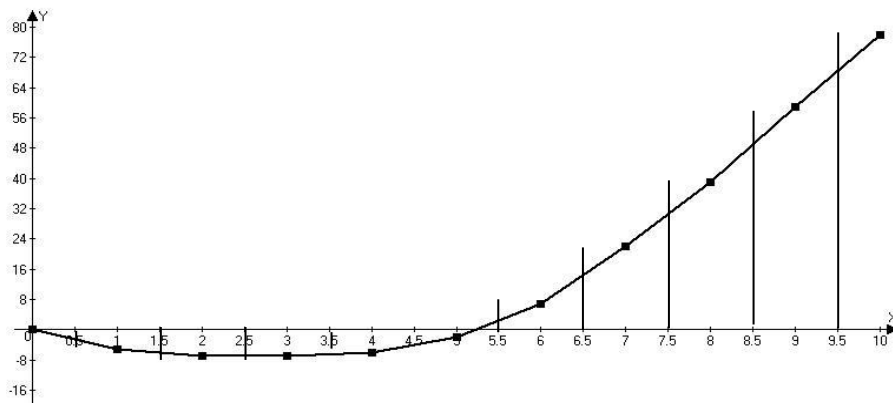


Рис. 2. Графік першого інтегралу від вихідної ДПК.

Ділянка вихідної ДПК, де  $y_i < 0$ , відповідає опуклій догори ДПК подвійного інтегралу; де  $y_i > 0$  – там ДПК подвійного інтегралу опукла донизу. Точці  $y = 0$  відповідає точка перегину ДПК подвійного інтегралу. На ДПК першого інтегралу їй відповідає точка екстремуму (у цьому випадку - мінімуму).

Як видно на графіках, якщо вихідна ДПК зростає, то перший інтеграл від неї має ввігнутість (опуклість донизу). Точка екстремуму цієї ввігнутості визначається точкою перетину вихідної ДПК із віссю  $OX$  (біля  $x = 3$ ). Другий інтеграл теж має ввігнутість (його екстремум буде в тій точці, де графік першого інтегралу перетнув вісь  $OX$  (біля  $x = 5$ ). Похибка у розбіжності точок на обох графіках пояснюється великим кроком по  $x$ , а також тим, що точки з'єднані ламаною лінією. З першого інтегралу ми маємо зростаючу вихідну ДПК із точкою перетину вісі  $OX$  в точці екстремуму першого інтегралу. Тобто, маючи вихідну ДПК, ми можемо сказати як “поведе” себе другий інтеграл, і навпаки.



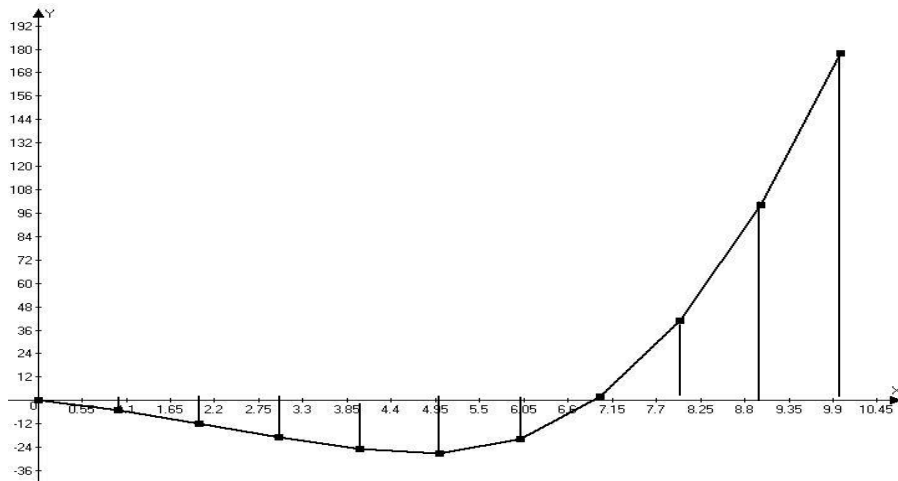


Рис. 3. Графік, подвійного інтегралу від вихідної ДПК.

Ще одна властивість інтегрованих ДПК полягає в тому, що різниця між двома сусідніми значеннями вісі  $OY$  інтегрованої ДПК є значенням площі під вихідними відрізками, на основі яких побудовані дані різниці. У цьому легко переконатися. Візьмемо з вищенаведеного прикладу вихідну ДПК і її інтеграли. Для знаходження площі під сегментами скористаємося формулою правих прямокутників, за якою побудована табл. 1, та знайдемо площу під другим сегментом вихідної ДПК (рис. 4):

$$S = h \cdot y_2 = 1 \cdot (-2) = -2.$$

Якщо нас цікавить абсолютне значення (тобто модуль), то площа під відрізком дорівнює 2.

Тепер обчислимо різницю між двома значеннями вісі  $OY$  другого інтегрованого сегменту:

$$\Delta = \bar{y}_2 - \bar{y}_1 = -7 - (-5) = -2.$$

Знак  $(-)$  свідчить про те, що ДПК  $\bar{y}_i$  – убутна.

Нижче наведені схематичні графіки:

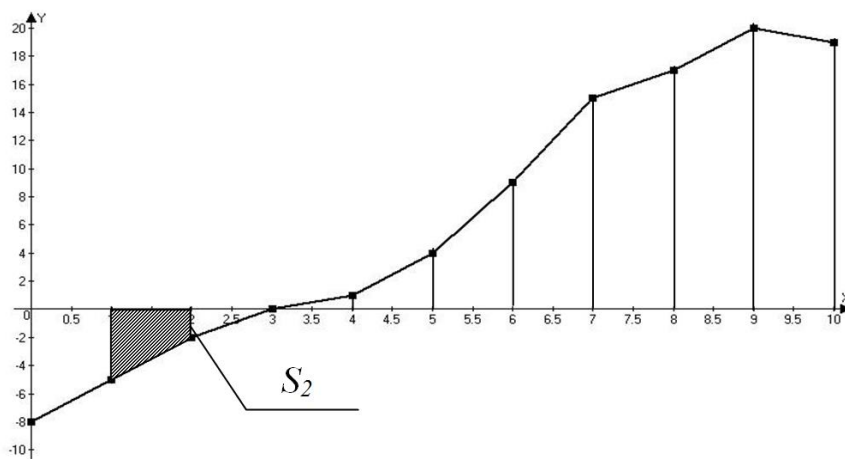


Рис. 4. Діаграма знаходження площі під сегментами ДПК.

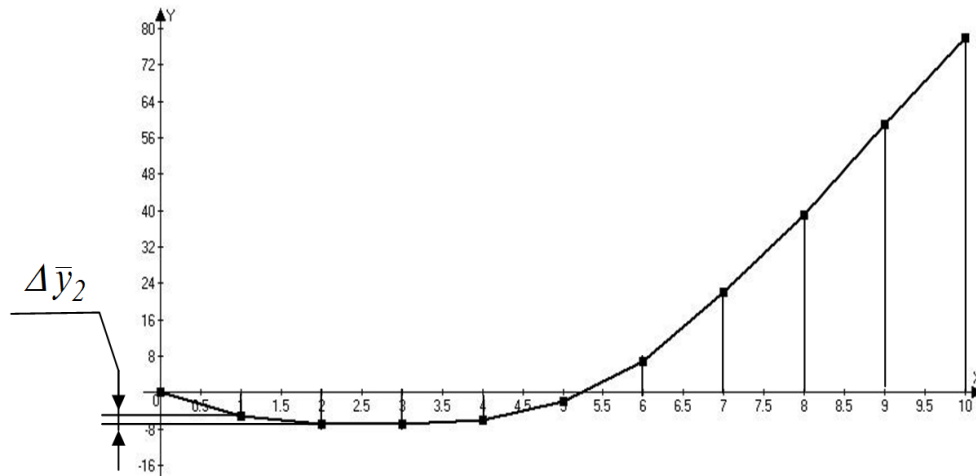


Рис. 5. Графік різниці між значеннями другого інтегрованого сегменту.

Для розв'язання задач дискретного геометричного моделювання велике значення має погоджене згущення побудованих ДПК на основі інтегрально - диференціальних зв'язків між ними.

Розглянемо згущення першого інтегралу ДПК. Згустимо ДПК  $y_i$  за допомогою 3-полінома на проміжку 6-7:

$$y_{6.5} = \frac{1}{16} (-(-2) + 9 \cdot 7 + 9 \cdot 22 - 39) = 14.$$

Побудуємо цю точку на інших графіках. Для побудови скористаємося залежністю різниці ординат й площі двох інтегрованих ДПК.

Різниця ( $\Delta y_{6,5}$ ) між точками № 6 і № 6,5 на графіку першого інтегралу дорівнює  $\Delta \bar{y}_{6,5} = 7$ , це означає, що площа під кривою на ділянці 6–6,5, вихідної ДПК, теж дорівнює 7. Звідси скориставшись формулою (1), знайдемо точку № 6,5 на вихідній ДПК:

$$S_{6,5} = y_{6,5} \cdot 0,5h = \Delta \bar{y}_{6,5},$$

$$y_{6,5} = \frac{1}{0,5h} \cdot \Delta \bar{y}_{6,5},$$

$$y_{6,5} = \frac{7}{0,5} = 14.$$

Отже, точка згущення на вихідній ДПК має координати  $(6,5; 14)$ .

Знайдемо точку згущення на другому інтегралі, для чого скористаємося властивостями інтегрованих ДПК.

Площа під відрізком 6–6,5 на першому інтегралі дорівнює різниці цих точок по  $\bar{y}_{6,5}$  на другому інтегралі.

Ця площа дорівнює

$$\begin{aligned}\bar{S}_{6,5} &= \bar{y}_{6,5} \cdot 0,5 \cdot h = \Delta \bar{y}_{6,5}; \\ \bar{S}_{6,5} &= 14 \cdot 0,5 \cdot 1 = 7,\end{aligned}$$

тобто різниця між ординатами точок 6 і 6,5 на графіку другого інтегралу дорівнює  $\Delta \bar{y}_{6,5} = 7$ .

Знайдемо точку згущення на другому інтегралі:

$$\bar{y}_{6,5} = y_6 + \Delta \bar{y}_{6,5} = -20 + 7 = -13.$$

Таблиця сум побудована на одиничній сітці на основі найпростішої квадратурної формули – правих прямокутників. Точність такого моделювання невисока і для її підвищення слід побудувати інші таблиці сум на основі більш точних квадратурних формул [6].

Таблиця 2 – Таблиця сум побудована за формулами трапецій і Симпсона.

x	y	ф-ла трапеції		Ф-ла Симпсона	
		$\Sigma \Sigma Y$	$\Sigma \Sigma Y$	$\Sigma \Sigma Y$	$\Sigma \Sigma Y$
0	-9	0	0	0	0
1	-5	-7	-3,5	-6,9167	-3,7917
2	-2	-10,5	-12,5	-10,3334	-13,6042
3	0	-11,5	-23,25	-11,2500	-24,5574
4	1	-11	-34,5	-10,7917	-35,7137
5	4	-8,5	-44,25	-8,4584	-45,5853
6	9	-2	-49,5	-2,0834	-51,2607
7	15	10	-45,5	9,9583	-47,7746
8	19	27	-27,0	27,1666	-29,5333
9	20	46,5	9,75	46,9166	7,4232
10	18	65,5	65,75	66,1666	64,1332

Розглянемо побудову таблиці сум за квадратурною формулою трапецій, при  $\bar{y}_0 = \bar{y}_0 = 0$ .

$$\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \cdot h = \bar{y}_{i+1} - \bar{y}_i, \quad (2)$$

звідси

$$\bar{y}_{i+1} = \bar{y}_i + \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \cdot h. \quad (3)$$

Розрахуємо згущення ДПК 1-го інтегралу в т. 6,5 за формулою базисного 3-поліному

$$\bar{y}_{6,5} = \frac{1}{16}(-(-8,5) + 9(-2) + 9 \cdot 10 - 27) = 3,34375.$$

Обчислимо точку згущення на вихідній ДПК (крок  $0,5h$ ):

$$y_{i+1} = \frac{\bar{y}_{i+1} - \bar{y}_i}{0,5h} \cdot 2 - y_i, \quad (4)$$

$$y_{i+1} = \frac{3,34375 - (-2)}{0,5} \cdot 2 - 9 = 12,375.$$

Визначимо ординату точки згущення 6,5 на 2-му інтегралі. Площа сегменту (6; 6,5) на 1-му інтегралі дорівнює

$$= \bar{y}_{6,5} - y_6 = \frac{\bar{y}_6 + \bar{y}_{6,5}}{2} \cdot 0,5h = \frac{-2 + 3,34375}{2} \cdot 0,5 = 0,3359.$$

Ордината  $\bar{y}_{6,5}$  точки згущення дорівнює

$$\bar{y}_{6,5} = -49,5 + 0,3359 = -49,164.$$

У порівнянні з формулою правих прямокутників результати точніші, осциляції немає.

Розглянемо можливості формули Симпсона. Оскільки вона спирається на три точки, то для реалізації диференціально-інтегральних зв'язків між інтегрованими ДПК перед застосуванням формули проведемо згущення вихідної ДПК за допомогою 3-полінома:

$$y_{0,5} = \frac{1}{16}(5y_0 + 15y_1 - 5y_2 + y_3);$$

$$y_{i+0,5} = \frac{1}{16}(-y_{i-0,5} + 9y_i + 9y_{i+1} - y_{i+2}), \quad i = \overline{1; n-2}; \quad (5)$$

$$y_{n-0,5} = \frac{1}{16}(y_{n-3} - 5y_{n-2} + 15y_{n-1} + 5y_n).$$

Точка згущення разом з двома сусідніми вузловими точками складають трійку точок, на які розповсюджується дія локальної формули Симпсона. Враховуючи, що крок сітки після згущення дорівнює  $0,5h$  маємо:

$$\frac{h}{6}(y_{i-1} + 4y_{i-0,5} + y_i) = \bar{y}_i - \bar{y}_{i-1}, \quad i = \overline{1; n}. \quad (6)$$

Враховуючи (5), маємо формули для обчислення ординат точок ДПК 1-го інтегралу.

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= \bar{y}_0 + \frac{h}{24}(9y_0 + 19y_1 - 5y_2 + y_3), \\ \bar{y}_{i+1} &= \bar{y}_i + \frac{h}{24}(-y_{i-1} + 13y_i + 13y_{i+1} - y_{i+2}), \quad i = \overline{1; n-2}, \\ \bar{y}_n &= \bar{y}_{n-1} + \frac{h}{24}(y_{n-3} - 5y_{n-2} + 19y_{n-1} + 9y_n). \end{aligned} \quad (7)$$

За цими формулами розраховуються точки ДПК 2-го інтегралу на основі ординат точок 1-го інтегралу. В табл. 2 надані результати розрахунків при  $\bar{y}_0 = \bar{y}_0 = 0$ .

Розглянемо згущення інтегрованих ДПК.

Якщо відомі точки  $\bar{y}_i$  ДПК 1-го інтегралу, то згущення вихідної ДПК можна розрахувати за формулою (6).

$$y_{i-0,5} = \frac{1}{4} \left[ \frac{6}{h}(\bar{y}_i - \bar{y}_{i-1}) - (y_i + y_{i-1}) \right]; \quad i = \overline{1; n}. \quad (8)$$

Аналогічно розраховуються ординати  $\bar{y}_{i-0,5}$  точок згущення ДПК 1-го інтегралу, якщо відомі точки  $\bar{y}_i$  2-го інтегралу.

Для визначення ординати  $\bar{y}_{i-0,5}$  точки згущення ДПК другого інтегралу візьмемо до уваги, що точки  $\bar{y}_{i-1}$ ,  $\bar{y}_{i-0,5}$ ,  $\bar{y}_i$  1-го інтегралу визначають 2-параболу, для якої:

$$\bar{y}_{i-1} - 2\bar{y}_{i-0.5} + \bar{y}_i = a, \quad (9)$$

тоді

$$\bar{y}_i - 2\bar{y}_{i-0.75} + \bar{y}_{i-0.5} = \frac{a}{4}.$$

Звідси, враховуючи  $a$  із (9), маємо

$$\bar{y}_{i-0.75} = \frac{1}{8} [3\bar{y}_{i-1} + 6\bar{y}_{i-0.5} - \bar{y}_i], \quad (10)$$

тоді

$$\bar{y}_{i-0.5} = \bar{y}_{i-1} + \frac{h}{24} [5\bar{y}_{i-1} + 8\bar{y}_{i-0.5} - \bar{y}_i]. \quad (11)$$

За формулами (8) розраховуємо  $y_{6.5}$  і  $\bar{y}_{6.5}$ :

$$y_{6.5} = \frac{1}{4} \left[ \frac{6}{1} (9,9583 + 2,0834) - (9 + 15) \right] = 12,0625;$$

$$\bar{y}_{6.5} = \frac{1}{4} \left[ \frac{6}{1} (-47,7746 + 51,2607) - (9,9583 - 2,0834) \right] = 3,2604.$$

За формулою (11) визначаємо  $\bar{y}_{6.5}$ :

$$\bar{y}_{6.5} = -51,2607 + \frac{1}{24} [5 \cdot (-2,0834) + 8 \cdot 3,2604 - 9,9583] = -51,0229.$$

*Висновки.* Застосування квадратурних формул для побудови інтегральних ДПК і їх згущення сприяють ущільненню диференціально-інтегральних зв'язків між відповідними ДПК і підвищують точність моделювання.

Література:

1. *Верещага В. М.* Дискретно-параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей : дисс. ... д-ра техн. наук: 05.01.01. Мелітополь, 1996. 320 с.

2. *Щербина В. М.* Дискретне диференціювання спіралеподібних дискретно представлених кривих // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 1997. Вип. 4, т. 1. С. 103-106.

3. *Найдиш В. М., Лебедєв В. О.* Дискретне диференціювання на основі кутових параметрів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2004. Вип. 4, т. 24. С. 3-9.

4. *Ланцош К.* Практические методы прикладного анализа. Москва: Физматгиз, 1961. 524 с.

5. *Хемминг Р. В.* Численные методы. Москва: Наука, 1972. 400 с.

6. *Волков Е. А.* Численные методы. Москва: Наука, 1987. 248 с.

## ДИСКРЕТНОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ ДПК ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ СУММ

Ивженко А. В., Шрамко А. В.

*Аннотация* – данная работа выполнена в рамках исследования вопросов дискретного геометрического дифференцирования, когда значения производных выбирается исходя из условия отсутствия осцилляции. Отмечено, что согласованное сгущение построенных дискретно представленных кривых (ДПК) на основе интегрально - дифференциальных связей и построение точек сгущения на следующем и исходном графике интеграла, при отсутствии осцилляции, имеет большое значение при решении задач дискретного геометрического моделирования.

Применение квадратурных формул для построения интегральных ДПК и их сгущения способствуют уплотнению дифференциально-интегральных связей между соответствующими ДПК и повышают точность моделирования.

Предлагаемый метод позволяет оценивать переменную составляющую при анализе и прогнозировании природных явлений и процессов. Это способствует проведению качественного геометрического моделирования явлений и процессов на основе построения адекватных математических моделей. Применение при этом информационных технологий дает проектировщику возможность экономии времени при проведении вычислений и позволяет усовершенствовать умение поиска информации для решения поставленной задачи.

## DISCRETE INTEGRATION DSC OF AN ANY CONFIGURATION ON THE BASIS OF CALCULATION OF THE SUMS

A. Ivzhenko, A. Shramko

### *Summary*

The given work is executed within the framework of research of questions of discrete geometrical differentiation when values of derivatives get out at absence oscillation. The coordinated condensation of constructed discretely submitted curves (DSC) on a

**basis integral - differential communications and construction of points of a condensation on the following and initial schedule of integral is marked, that, at absence oscillation, is of great importance at the decision of tasks of discrete geometrical modeling.**

**Application quadrate formulas for construction integrated DSC and their condensations promote condensation of differential-integrated communications between corresponding DSC and raise accuracy of modeling.**

**In work the way of discrete integration DSC of an any configuration is offered by drawing up of the table of the sums on the basis of ordinates initial DSC.**

**The proposed technique allows solving the problems of statistical data processing in different areas of activity. The developed method is based on the introduction of modern methods of analysis to solve the problem of data prediction, promotes the use of information technology. A specialist, at the same time, only research work remains setting the task, assessing the quality of the models obtained. For this, it is necessary to have appropriate training in the field of application of computer technology in the processing and analysis of statistical data.**

**The proposed method allows to estimate the variable component in the analysis and prediction of natural phenomena and processes. This contributes to the qualitative geometric modeling of phenomena and processes based on the construction of adequate mathematical models.**



УДК 519.677:636.084.003.13 DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-248-256

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РАЦІОНУ КОРМІВ ДЛЯ СВИНАРСТВА

Дьоміна Н. А., к. т. н.,

Назарова О. П., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (067)2998042, (097)49304522

**Анотація** – у реформованих сільськогосподарських підприємствах впровадження інтенсивної технології у процес виробництва продукції тваринництва, правильне визначення оптимального добового раціону має велике значення. Це впливає на фізіологічні особливості тварин, від нього залежить продуктивність тваринництва. Окрім того, у структурі собівартості продукції тваринництва корми займають найбільшу питому вагу. Тому для зменшення витрат при виробництві продукції тваринництва необхідно оптимізувати процес годівлі.

Для найкращого використання кормів та досягнення оптимальної окупності необхідно організувати годівлю тварин на науковій основі.

Добові раціони повинні бути збалансовані за всіма можливими показниками (кормові одиниці, перетравний протеїн), та одночасно мати мінімальну вартість. У якості критерію оптимальності в окремих задачах можна використовувати мінімум маси раціону, максимум енергетичних одиниць та ін.

**Ключові слова** – корм, модель, оптимальний план, раціон, продукція тваринництва, собівартість, критерій оптимальності.

*Аналіз основних досліджень.* Вартість корму – важливий показник для прийняття рішення про купівлю-продаж кормів або їх використанні в господарстві. Це грошова вартість корму в залежності від його поживного складу в порівнянні з альтернативними кормами. Розрахунок оптимальної вартості корму може здійснюватися різними математичними методами, що залежить від кількості показників поживності, які повинні бути враховані. Чим більше показників використовується в калькуляції вартості корму (оптимізації раціону годівлі), тим точнішим буде результат розрахунку, тобто рекомендація по використанню певного корму в раціоні. Методика розрахунку показників представлено у науковій літературі. Однак

відсутність розрахункових блоків у програмних пакетах ускладнює роботу дослідника.

У роботі пропонуються розрахункові блоки у пакеті MathCad, які дозволяють розраховувати основні економічні показники діяльності господарства.

*Результати досліджень та їх обговорення.* Обґрунтування і збалансованість по білку і інших поживних речовин кормової бази – один з головних чинників тваринництва. Вибір і структура балансу кормів залежать від природно-кліматичних умов господарство, видів і порід худоби, ступеня використання раціонального годування тварин.

Повноцінне годування є основою продуктивності дорослих тварин і збільшення живої ваги молодняка, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню ефективності тваринництва.

Залежно від умов кожного господарства і його можливостей для раціонального ведення тваринництва, а так само використання земельних угідь, виділених під кормовиробництво, необхідно розраховувати оптимальні структури посівних площ кормових культур, плани використання заготовлених кормів, норми і раціони годівлі тварин.

Розрахувати оптимальний кормовий раціон, що враховує зоотехнічні та економічні вимоги, за допомогою традиційних методів підбору дуже складно, а при великому наборі кормів практично неможливо, тому завдання доцільно вирішувати за допомогою економіко-математичних методів і ЕОМ.

Раціони годівлі повинні задовольняти потребу тварин не тільки в поживних речовинах (енергетичному, протеїновому, макро- м мікроелементом, амінокислотному і вітамінному складах). Але мати певне співвідношення різних груп і видів кормів, поживних речовин. Крім того, вони повинні мати мінімальну собівартість.

Економіко-математичну задачу можна сформулювати наступним чином: з наявних у господарстві кормів, а так само придбаних кормів і кормових добавок скласти раціон, який повністю задовольняв би біологічні потреби тварини в поживних речовинах і мав мінімальну вартість. При особливих постановках задачі або виконанні завдання в системі економічних моделей крім основного критерію оптимальності - мінімум собівартості раціону - можливі й інші критерії оптимальності.

Основними змінними є корми, які є в наявності. А так же корми, кормові та мінеральні добавки, які господарство може придбати. Одиницями виміру цих змінних є кг, ц залежно від періоду, на який складається раціон.

У задачі крім основних можуть бути допоміжні змінні. Він найчастіше висловлюють сумарна кількість кормових одиниць або перетравного протеїну в раціоні. За допомогою цих змінних

записують умови по структурі раціону (питома вага окремих груп кормів).

Методологічною основою аналізу досліджень основних вартісних економічних категорій є витрати, собівартість, ціна, прибуток, рентабельність. Першими, а тому найважливішими, у цьому переліку зазначено витрати. Вони впливають на характер динаміки усіх інших показників і мають найбільший вплив на зміну результатів господарської діяльності.

*Постановка завдання.* Метою дослідження є автоматизація обчислювальних блоків при якій можна одержати максимум сільськогосподарської продукції та прибутку з мінімальними витратами. Побудову математичної моделі із визначенням суми витрат виробничого процесу виконано на прикладі вирощування свиней.

*Основна частина.* Необхідно скласти оптимальний план добового раціону кормів для свинарства на зимовий період. У господарстві мається наступна кількість кормів, ц: ячменя – 4905 ц; вівса – 3169 ц; висівок пшеничних – 3006 ц; трав'яного борошна конюшини – 1990ц; картоплі – 9041 ц; кормового буряку – 34374 ц; м'ясо-кісткового борошна – 968 ц; обрату – 3398 ц. Зміст живильних речовин у 1 кг кожного виду корму і їхньої собівартості представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Живильні речовини у 1 кг кожного виду корму та їх собівартість

Корм	к.о, кг	протеїн, г	Кальцій, г	Фосфор, г	каротин, мг	лізин, г	метіонін + цистеїн, г	триптофан, г	Собівартість 1 кг корму, коп.
Ячмінь	1,21	81	1,2	3,3	1	4,0	3,4	1,5	5,92
Овес	1,0	83	1,4	3,3	-	3,5	3,2	1,4	5,64
Висівки пшеничні	0,71	126	1,8	10,1	4	5,5	4,0	1,9	3,98
Трав'яне борошно конюшинове	0,67	96	9,9	2,5	150	10,3	1,7	3,3	10,1 2
Картопля	0,3	31	0,2	0,7	-	1,0	0,3	0,2	6,67
Кормовий буряк	0,12	9	0,4	0,4	-	0,5	0,1	0,1	5,07
Обрат	0,13	31	1,2	1,0	-	2,6	1,1	0,4	1,09
М'ясокісткове борошно	0,89	339	31,7	14,4	-	28,7	14,7	4,6	23,8 2
Крейда	-	-	366	-	-	-	-	-	2

Необхідна кількість живильних речовин на 1 голову в добу, допустимий вміст окремих груп кормів у раціоні, вихід продукції і витрати на її виробництво представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Показники необхідної кількості живильних речовин

Показники	
– кормових одиниць	7,2
– протеїн	850
– кальцій, м	45
– фосфор, м	31
– каротин, мг	48
– лізин, м	60,6
– метіонін + цистеїн, м	18,74
– триптофан, м	10,1
зміст окремих груп кормів, % до загальної кількості кормових одиниць:	
– концентрати;	60-80
– коренеплоди;	15-25
– корму тваринного походження	8-13
Матеріально – грошові витрати (без вартості кормів), грн.	0,61
Вартість валової продукції, грн.	6,80

Для збалансованості раціонів по кальцію виділяється кормова крейда. Крім того, питома вага трав'яного борошна повинна скласти не більш 15% концентратів. Критерій оптимальності – мінімум вартості раціону.

Перелік змінних - кількість кормів, що може ввійти в раціон кормів позначимо:  $X_{11}$  – кількість ячменя в раціоні;  $X_{12}$  – кількість вівса в раціоні;  $X_{13}$  – кількість висівок у раціоні;  $X_{14}$  – кількість трав'янистого борошна в раціоні;  $X_{15}$  – кількість картоплі в раціоні;  $X_{16}$  – кількість кормового буряку в раціоні;  $X_{17}$  – обрату в раціоні;  $X_{18}$  – кількість м'ясокісткового борошна в раціоні;  $X_{19}$  – кількість крейди в раціоні;  $X_{10}$  – кількість кормових одиниць у раціоні.

Система обмежень у розгорнутому виді має вигляд:

1. Обмеження по балансу живильних речовин у раціоні: загальна кількість кормових одиниць

$$1.21 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 0.71 \cdot x_3 + 0.67 \cdot x_4 + 0.3 \cdot x_5 + 0.12 \cdot x_6 + 0.13 \cdot x_7 + 0.89 \cdot x_8 - x_{10} = 0$$

$$x_{10} \geq 7.2$$

протеїну, що перетравлюється

$$81 \cdot x_1 + 83 \cdot x_2 + 126 \cdot x_3 + 96 \cdot x_4 + 31 \cdot x_5 + 9 \cdot x_6 + 31 \cdot x_7 + 339 \cdot x_8 \geq 850$$

## 2. Кальцію

$$1.2 \cdot x_1 + 1.4 \cdot x_2 + 1.8 \cdot x_3 + 9.9 \cdot x_4 + 0.2 \cdot x_5 + 0.4 \cdot x_6 + 1.2 \cdot x_7 + 31.7 \cdot x_8 + 366x_9 \geq 850$$

## 3. Фосфору

$$3.3 \cdot x_1 + 3.3 \cdot x_2 + 10.1 \cdot x_3 + 2.5 \cdot x_4 + 0.7 \cdot x_5 + 0.4 \cdot x_6 + 1 \cdot x_7 + 14.4 \cdot x_8 \geq 31$$

## 4. Каротину

$$1 \cdot x_1 + 4 \cdot x_3 + 150 \cdot x_4 \geq 48$$

## 5. Лізину

$$4 \cdot x_1 + 3.5 \cdot x_2 + 5.5 \cdot x_3 + 10.3 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0.59 \cdot x_6 + 2.6 \cdot x_7 + 28.7 \cdot x_8 \geq 60.6$$

## 6. Метіонін + цистеїн

$$3.4 \cdot x_1 + 3.2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 1.7 \cdot x_4 + 0.3 \cdot x_5 + 0.1 \cdot x_6 + 1.1 \cdot x_7 + 14.7 \cdot x_8 \geq 18.74$$

## 7. Триптофану

$$1.5 \cdot x_1 + 1.4 \cdot x_2 + 1.9 \cdot x_3 + 3.3 \cdot x_4 + 0.2 \cdot x_5 + 0.1 \cdot x_6 + 0.4 \cdot x_7 + 4.6 \cdot x_8 \geq 10.1$$

Вміст окремих груп кормів, % до загальної кількості кормових одиниць:

– концентрати

$$0.71x_3 + 0.13x_7 \geq 0.6x_{10}$$

$$0.71x_3 + 0.13x_7 \leq 0.8x_{10}$$

– коренеплоди

$$0.3x_5 + 0.12x_6 \geq 0.15x_{10}$$

$$0.3x_5 + 0.12x_6 \leq 0.25x_{10}$$

– корму тваринного походження

$$0.89x_8 \leq 0.8x_{10}$$

$$0.89x_6 \geq 0.13x_{10}$$

– трав'яного борошна повинно скласти не більш 15% концентратів.

$$0.67x_4 \leq 0.15 \cdot x_{10}$$

Цільова функція (мінімум вартості раціону)

$$f(x) := 5.92x_1 + 5.64x_2 + 3.98x_3 + 10.12x_4 + 6.67x_5 + 5.07x_6 + 1.09x_7 + 23.82x_8 + 2x_9$$

Таблиця 3 – Матриця економіко-математичної задачі оптимізації добового раціону годівлі корів

Найменування обмежень	Ячмінь	Овес	Вівітки пшеничні	Трав'яне борошно конюшинове	Картопля	Кормовий буряк	Обрат	М'ясокісткове борошно	Крейда	Загальна кількість кормових одиниць	Вид обмежень	Обсяг обмежень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Усього кормових одиниць, кг	1,21	1	0,71	0,67	0,3	0,12	0,13	0,89		-1	=	0

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кормові одиниці										1	≥	7,2
Протеїн, г	81	83	126	96	31	9	31	339			≥	850
Кальцій	1,2	1,4	1,8	9,9	0,2	0,4	1,2	31,7	366		≥	45
Фосфор	3,3	3,3	10,1	2,5	0,7	0,4	1	14,4			≥	31
Каротин, мг	1		4	150							≥	48
Лізин, кг	0,85	0,83	0,85	0,25	0,45	0,9					≤	20
Концентрати, не менш, кг кор. ед			0,71				0,13			-0,6	≥	0
Концентрати, не більш			0,71				0,13			-0,8	≤	0
Коренеплоди, не менш					0,3	0,12				-15	≥	0
Коренеплоди, не більш					0,3	0,12				-25	≤	0
Корму тваринного походження, не менш								0,89		-0,8	≥	0
Корму тваринного походження, не більш								0,89		0,13	≤	0
Трав'яного борошна				0,67						0,15	≤	0
Собівартість раціону	5,92	5,64	3,98	10,12	6,67	5,07	1,09	23,8	2			min

В пакеті MathCad12 отриманий оптимальний добовий раціон годівлі корів:

Таблиця 4 – Потреба в живильних речовинах

Змінні	Кормів	Живильні речовини								Собівартість, грн,
		Кормових одиниць	Протеїн, г	Кальцій, г	Фосфор, г	Каротин, мг	Лізин, г	Метіонін + цистеїн, г	Триптофан, г	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x1	0,22	0,27	0,27	0,22	0,90	0,76	0,34	1,33	0,27	1,33
x2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
x3	6,97	4,95	12,55	27,89	38,35	27,89	13,25	27,75	12,55	27,8
x4	0,13	0,09	1,32	19,95	1,37	0,23	0,44	1,35	1,32	1,35

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x5	3,18	0,95	0,64	0	3,18	0,95	0,64	21,20	0,64	21,2
x6	1,05	0,13	0,42	0	0,53	0,11	0,11	5,33	0,42	5,33
x7	6,23	0,81	7,47	0	16,19	6,85	2,49	6,79	7,47	6,79
x8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x9	2,26	0	827,2	0	0	0	0	4,52	827,2	4,52
Разом		7,20	1210,5	849,8	48,1	60,5	36,8	17,26	7,20	68,3
Потреба в живильних речовинах		7,2	1208	850	45	31	48	20	7,2	
Перевищення потреби		0,0	2,5	-0,2	3,1	29,5	-11,2	-2,7	0,0	

$$\begin{array}{llll}
 x_1 := 0 & x_2 := 0 & x_3 := 0 & x_4 := 0 \\
 x_5 := 0 & x_6 := 0 & x_7 := 0 & x_8 := 0
 \end{array}$$

$$f(x) := 31 x_1 + 32 x_2 + 41.5 x_3 + 37.3 x_4 + 39.35 x_5 + 9 x_6 + 17 x_7$$

Given

$$1.21 x_1 + 0.17 x_2 + 1.27 x_3 + 1.11 x_4 + 0.89 x_5 + 0.12 x_6 + 1.03 x_7 - x_8 = 0$$

$$x_8 \geq 3.1$$

$$81 x_1 + 28 x_2 + 142 x_3 + 48 x_4 + 339 x_5 + 9 x_6 + 386 x_7 \geq 290$$

$$1.2 x_1 + 3 x_2 + 0.7 x_3 + 0.4 x_4 + 31.7 \cdot x_5 + 0.4 x_6 + 3.6 x_7 \geq 18$$

$$3.3 x_1 + 0.8 x_2 + 4.3 x_3 + 2.3 x_4 + 14.4 x_5 + 0.5 x_6 + 12.2 x_7 \geq 13$$

$$x_1 + 38 x_2 + 10.2 x_3 + 3 x_4 + 0.1 x_6 + 3 \cdot x_7 \geq 16$$

$$4 x_1 + 2.1 x_2 + 3.9 x_3 + 1.9 x_4 + 28.7 x_5 + 0.4 x_6 + 14.2 x_7 \geq 12.01$$

$$3.4 x_1 + 1.4 x_2 + 4.1 x_3 + 3.3 x_4 + 14.7 x_5 + 0.2 x_6 + 16.7 x_7 \geq 8.26$$

$$1.21 x_1 + 0.7 x_3 + 0.4 x_4 + 3.6 x_7 - 0.48 x_8 \geq 0$$

$$1.21 \cdot x_1 + 0.7 x_3 + 0.4 \cdot x_4 + 3.6 x_7 - 0.64 x_8 \leq 0$$

$$x \geq 0 \quad x_4 \geq 0.2 x_8 \quad x_6 \geq 0.12 x_8 \quad x_7 \geq 0.1 x_8$$

$$R := \text{Minimize}(f, x)$$

$$x_1 \geq 0.025 x_8$$

$$R^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0.198	0.201	1.818	0.482	0.372	0.31	3.1

$$f(R) = 11.08$$

Рис. 1. Лістинг програмного блоку.

Дотримані всі умови за структурою раціону.

*Висновки.* Аналіз результатів розв'язання задачі показує, що за даних умов оптимальним варіантом раціону є: висівки пшеничні  $x_3 = 0,198$ ; трав'яне борошно конюшинове  $x_4 = 0,201$ ; картопля  $x_5 = 1,818$ ; кормовий буряк  $x_6 = 0,482$ ; обрат  $x_7 = 0,372$ , м'ясокісткове борошно  $x_8 = 0,31$ , крейда  $x_9 = 3,1$ . Раціон забезпечує свиню поживними речовинами, собівартість його 11,08 грн.

Література:

1. *Хачатрян С. Р., Пинегина М. В., Буянов В. П.* Методы и модели решения экономических задач: учебное пособие. Москва: Экзамен, 2005. 384 с.

2. *Назарова О. П., Андрущенко О. С.* Економіко-математична задача оптимізації добового раціону ВРХ // Сучасна наука в мережі Інтернет: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. Київ, 2010. Ч. 2. С. 28-31.

3. *Назарова О. П., Андрущенко О. С., Андрущенко М. В.* Економічне обґрунтування оптимальної структури стада великої рогатої худоби // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. Львів, 2010. Т. 12, № 1(43). С. 418-421.

4. *Назарова О. П., Андрущенко М. В., Андрущенко О. С.* Економіко-математична модель оптимізації галузевої структури виробництва // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2010. Вип. 3(72). С. 92-96.

5. *Кормовые добавки: справочник / А. М. Венедиктов и др.* 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1992. 190 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАЦИОНА КОРМОВ ДЛЯ СВИНОВОДСТВА

Демина Н. А., Назарова О. П.

**Аннотация** – в сельскохозяйственных предприятиях интенсивные технологии при производстве продукции животноводства имеют большое значение, при этом главным является правильное определение оптимального суточного рациона. Суточный рацион влияет на физиологические особенности животных, от него зависит производительность животноводства.

Для лучшего использования кормов и достижения оптимальной окупаемости необходимо организовать кормление животных на научной основе.



Суточные рационы должны быть сбалансированы по всем показателям (кормовые единицы, протеин и т.д.), и одновременно иметь минимальную стоимость. В качестве критерия оптимальности в отдельных задачах можно использовать минимум массы рациона, максимум энергетических единиц и др.

## MODELING AND OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF FEED IN PIG PRODUCTION

N. Demina, O. Nazarova

### *Summary*

In agricultural enterprises, intensive technologies in the production of livestock products are important, while the main thing is the correct determination of the optimal. The daily ration affects the physiological characteristics of animals, and the productivity of livestock depends on it.

For achieving optimal payback, it is necessary to organize animal feeding on a scientific basis.

Daily rations should be balanced over all indicators (feed units, digestible protein, ...), and at the same time have a minimum cost. As the criterion of optimality in individual problems, it is possible to use a minimum of mass of a diet, a maximum of energy units, and others.

Depending on the conditions of each farm and its opportunities for rational livestock management, as well as the use of land allocated for feed production, it is necessary to calculate the optimal structures of sown areas of forage crops, plans for using harvested forages, norms and ration of feeding animals.

It is very difficult to calculate the optimum feed diet, taking into account zootechnical and economic requirements, and with a large set of feeds it is almost impossible, so it is advisable to solve the problem using economic and mathematical methods and computers.

Nutrition diets should meet the needs of animals not only in nutrients (energy, protein, macro-microelements, amino acid and vitamin supplements), but have a definite ratio of different groups and types of feed and nutrients. In addition, they must have a minimum cost.

The aim of the study is to automate the computing blocks, constructing a mathematical model with determining the sum of expenses on the example of growing pig breeding.

УДК 514.18

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-257-263

## ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ ЗА ЗАДАНИМИ УМОВАМИ

Холодняк Ю. В., к. т. н.,

Гавриленко Є. А., к. т. н.,

Івженко О. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Найдиш А. В., д. т. н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана  
Хмельницького*

Тел. (0619) 42-68-62

**Анотація** – запропонована технологія формування комп'ютерних моделей поверхонь складних технічних виробів, заданих масивом точок. Розроблена технологія проектування поверхонь складних технічних виробів включає створення геометричних моделей поверхонь та керуючих програм для їх обробки на верстатах з числовим програмним управлінням. Із вихідного масиву точок виділяються підмножини – точкові ряди, на основі яких формуються лінійні елементи каркасу поверхні. Комп'ютерна модель поверхні створюється на основі дискретного лінійного каркасу, представленого сімействами твірних та напрямних кривих ліній. Використання розробленої технології дозволяє зменшити час створення комп'ютерної моделі виробу та програми для обробки на верстатах з числовим програмним управлінням, поліпшити функціональні якості поверхонь, які обмежують виріб.

**Ключові слова** – каркас поверхні, горизонтальний перетин, твірна, дискретно представлена крива (ДПК), закономірна зміна кривини, інтерполяція.

**Постановка проблеми.** Конструювання виробів, функціональним призначенням яких є взаємодія з середовищем (робочі органи сільськогосподарських машин, канали двигунів внутрішнього згоряння, лопатки турбін та ін.), вимагає розробки методів моделювання поверхонь за заданими умовами. До таких умов відносяться: проходження через заданий масив точок або ліній, регламентований характер зміни характеристик уздовж поверхні (положень дотичних, значень радіусів кривини) [3, 4].

Складні поверхні можуть бути сформовані на основі каркаса,

елементами якого є плоскі криві лінії. З геометричної точки зору властивості поверхні забезпечуються властивостями кривих, які входять в її визначник. Забезпечення заданої динаміки зміни характеристик уздовж поверхонь, які обмежують робочі органи ґрунтообробних інструментів, сприяє запобіганню залипанню ґрунтом інструменту та зменшенню енергетичних витрат при переміщенні ґрунту.

*Аналіз останніх досліджень.* Метод формування за заданими умовами плоских дискретно представлених кривих ліній (ДПК) на основі довільного точкового ряду запропонований в роботі [5]. Метод дозволяє забезпечити закономірну зміну кривини уздовж кривих.

На основі запропонованого методу розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє формувати ДПК, що складається з як завгодно великої кількості точок. Отриманий точковий ряд в автоматичному режимі інтерполюється В-сплайном в пакеті тривимірного моделювання SolidWorks [2].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою дослідження є розробка методики формування робочої поверхні інструменту для розпушування ґрунту. Модель поверхні формується на основі каркаса, елементами якого є плоскі криві з закономірною зміною кривини.

*Основна частина.* Розглянемо задачу формування геометричної моделі інструменту для розпушування ґрунту. Інструмент являє собою фрезу, що складається з диска з трьома ґрунтообробними елементами (рис. 1). В процесі розпушування ґрунту інструмент здійснює поступально-обертальний рух.

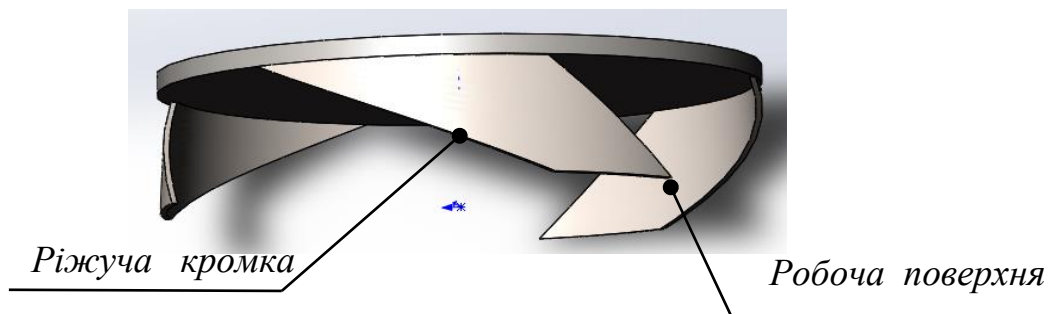


Рис. 1. Інструмент для рихлення ґрунту.

Вихідними даними для формування геометричної моделі робочої поверхні ґрунтообробного елемента є упорядкований масив точок, які їй належать, та ріжуча кромка інструменту – циліндрична гвинтова лінія. Вихідні точки визначають плоскі ДПК, що представляють сімейство горизонтальних перетинів поверхні, що формується.

Заданий розмір фракції ґрунту ( $s=0,25-10$  мм), одержуваної в результаті обробки, забезпечується за рахунок співвідношення швидкості обертання та поступальної швидкості руху інструменту.

Точки, розташовані на ріжучій кромці ( $M$ ) рухаються по кривій  $l$ , яка подібна циклоїді (рис. 2).

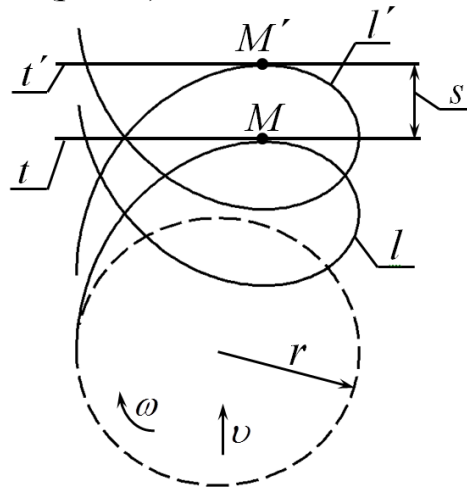


Рис. 2. Кінематична схема руху ріжучої кромки ножа.

Траєкторія руху ріжучої кромки визначається наступними параметрами:

- радіус обертання ріжучої кромки ножа ( $r=300$  мм);
- поступальна швидкість руху фрези ( $v=1,4$  м/с);
- швидкість обертання ножа ( $\omega=18,4$  рад/с).

Вихідними даними для формування геометричної моделі робочої поверхні ножа є упорядкований масив точок, що їй належать, які визначають плоскі ДПК, що становлять сімейство горизонтальних перетинів поверхні.

Схема визначення координат вихідних точок, які задають горизонтальний переріз робочої поверхні ножа, розроблена виходячи з умови мінімального ущільнення ґрунту в процесі обробки.

Розглянемо формування вихідної ДПК, яка задає один із горизонтальних перетинів каркаса поверхні.

Вихідна ДПК складається з 7 точок. Перша точка точкового ряду (точка  $M$ ) належить ріжучій кромці інструменту. Положення точок  $M_1, \dots, M_6$  визначаються виходячи з умови їх розташування всередині області, обмеженої кривою  $l$  (рис. 3,а).

Точки вихідної ДПК  $M, M_1, \dots, M_6$ , розташовані на прямих  $f, f_1, \dots, f_6$ , що проходять через осьову лінію фрези (на рис. 3,а осьова лінія проектується в точку  $O$ ), таким чином, що кути між прямими, відповідним сусіднім точкам, рівні між собою ( $\beta=7,5^\circ$ ).

Попереднє положення точки  $M_1$  визначається перетином кривої  $l$  з прямою  $f_1$ , яка становить з прямою  $|M;O|$  кут  $\beta$  (на рис. 3,а це точка  $M_1'$ ).

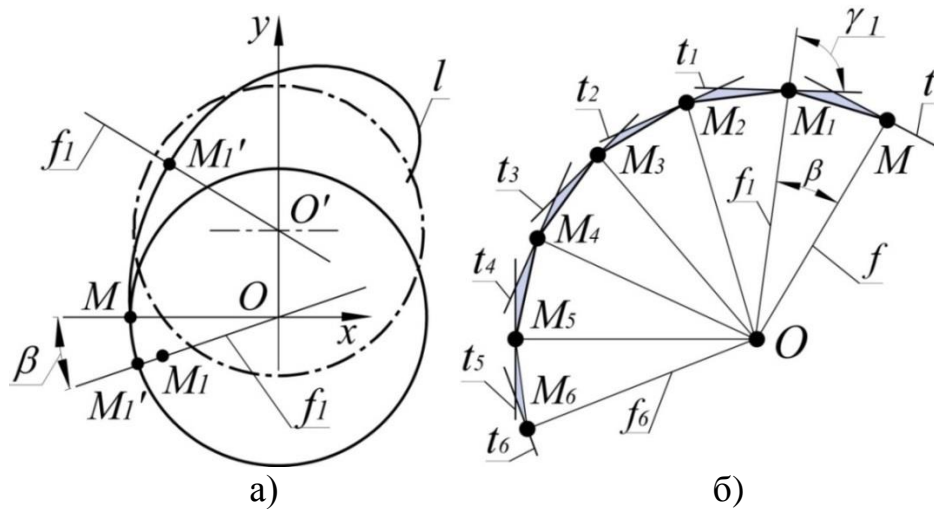


Рис. 3. Формування вихідної ДПК.

Під час руху робочого органу пряма  $f_1$  здійснює поступально-обертальний рух, а точка  $M_1'$  рухається вздовж кривої  $l$ . При цьому відстань від точки  $M_1'$  до осі фрези ( $|M_1';O'|$ ) змінюється. Визначається таке положення  $M_1'$ , при якому відстань  $|M_1';O'|$  мінімальна –  $|M_1';O'|_{min}$ . Остаточне положення точки  $M_1$  призначається на прямій  $f_1$  в початковому положенні таким чином, щоб відстань від призначеної точки до осі фрези дорівнювала  $|M_1';O'| = |M_1';O'|_{min}$ .

При такому положенні точки  $M_1$  траєкторія її руху розташована всередині області, обмеженої кривою  $l$ , та має з нею одну спільну точку торкання. Кут між дотичною до кривої  $l$  в цій точці та прямою  $f_1$ , на якій розташована точка торкання, позначимо  $\gamma_1$ . Положення дотичної до ДПК в точці  $M_1$  ( $t_1$ ) призначається таким чином, що кут між  $t_1$  та прямою  $f_1$ , на якій розташована точка  $M_1$ , дорівнює  $\gamma_1$ .

Положення точок  $M_2, \dots, M_6$  та дотичних в них призначаються аналогічно на прямих  $f_2, \dots, f_6$ .

В результаті отримана вихідна ДПК, задана координатами точок, що їй належать, і положеннями дотичних в цих точках (рис. 3,б). Призначення положень точок, які задають вихідну ДПК, за вказаною схемою забезпечує мінімальне відхилення перетину від траєкторії руху ріжучої кромки.

Далі проводиться аналіз ДПК, в результаті якого точковий ряд розбивається на ділянки, на основі яких може бути сформована крива

з монотонною зміною кривини. У вихідних точках визначаються діапазони значень радіусів кривини, при яких задача формування монотонної кривої має розв'язок [1].

В результаті згущення отримано точковий ряд, який складається з 41 точки, що задає горизонтальний перетин робочої поверхні. Отриманий точковий ряд представляє криву з монотонною зміною кривини. Максимальна відстань від ланки супроводжуючої ламаної лінії точкового ряду до кривої, що відповідає умовам задачі, не перевищує  $10^{-4}$  мм.

В якості направляючої лінії каркаса прийнята циліндрична гвинтова лінія, яка представляє ріжучу кромку інструменту.

На основі каркаса, що складається з 5 горизонтальних перетинів та просторової направляючої кривої, в пакеті SolidWorks сформована поверхня робочого органу (рис. 4).

В якості лінійних елементів каркасу поверхні, що моделюється, використано В-сплайни, які інтерполюють точкові ряди, отримані у результаті згущення. Уздовж отриманих В-сплайнів значення радіусів кривини змінюються монотонно.

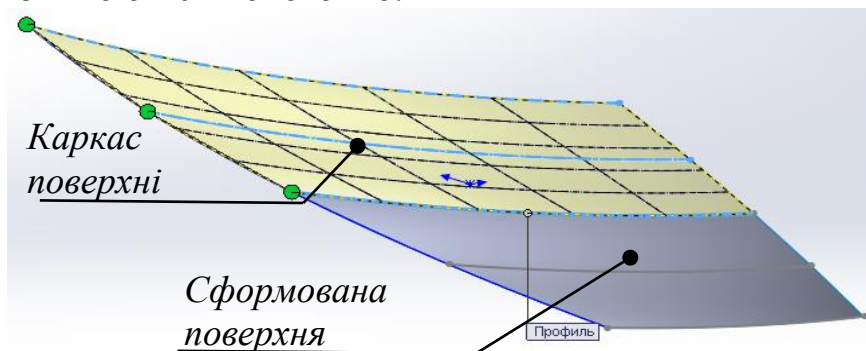


Рис. 4. Модель поверхні інструмента.

Отримана геометрична модель інструменту використовується в якості вихідних даних при розробці керуючої програми для верстата з числовим програмним управлінням в пакеті PowerMill.

*Висновки.* В роботі запропонована методика формування комп'ютерної геометричної моделі функціональної поверхні інструменту для розпушування ґрунту. Вихідними даними є точковий масив, що представляє сімейство горизонтальних перетинів поверхні. Запропонована методика включає наступні етапи:

- розрахунок координат точок ДПК, які є елементом каркаса формованої поверхні, по заданим геометричним умовам;
- формування В-сплайну, який інтерполює отриманий точковий ряд;
- формування криволінійної поверхні на основі каркасу, що складається з сімейства горизонтальних перетинів та направляючої кривої.

Положення точок вихідного точкового масиву дозволяє зменшити змінання ґрунту під час поступово-обертального руху інструменту. Закономірна зміна кривини уздовж ліній, що представляють горизонтальні перетини робочої поверхні, сприяє зменшенню витрат енергії при обробці ґрунту.

Розроблена методика може застосовуватися як при вирішенні задач зворотного інжинірингу, так і під час конструювання нових виробів.

Література:

1. Гавриленко Е. А., Холодняк Ю. В., Пахаренко В. А. Формирование геометрических характеристик монотонной кривой линии // Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон, 2016. № 3(58). С. 492–496.

2. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В. Програмна реалізація алгоритму моделювання одновимірних обводів по заданим геометричним умовам // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцьк, 2013. № 13. С. 4–9.

3. Осипов В. А. Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей. Москва: Машиностроение, 1979. 248 с.

4. Синеоков Т. Н. Теория и проектирование почвообрабатывающих орудий. Москва: Машиностроение, 1965. 484 с.

5. Холодняк Ю. В., Дмитриев Ю. А. Формирование одномерных обводов с закономерным изменением кривизны // Динамика систем, механизмов и машин. Омск, 2014. № 3. С. 241–243.

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПО ЗАДАНЫМ УСЛОВИЯМ

Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А., Ивженко А. В., Найдыш А. В.

**Аннотация** – предложена технология проектирования компьютерных моделей поверхностей, заданных массивом точек. Разработанная технология проектирования поверхностей сложных технических изделий включает в себя создание геометрических моделей поверхностей и управляющих программ для их обработки на станках с числовым программным управлением. Из исходного массива точек выделяются подмножества – точечные ряды, на основе которых формируются линейные элементы каркаса поверхности. Компьютерная модель поверхности создается на основе дискретного линейного каркаса, представленного семействами образующих и направляющих

кривых линий. Использование разработанной технологии позволяет уменьшить время создания компьютерной модели изделия и программы для обработки на станках с числовым программным управлением, улучшить функциональные качества поверхностей, которые ограничивают изделие.

## TECHNOLOGY OF MODELING OF SURFACES OF COMPLEX TECHNICAL PRODUCTS ACCORDING TO GIVEN CONDITIONS

Yu. Kholodnyak, E. Gavrilenko, A. Ivzhenko, A. Naidysh

### *Summary*

The technology of design of computer models of surfaces defined by array of points is developed. The main requirement to the surface of products which interact with the environment, is to ensure a given character of their flow. Functional quality of the surface is ensure by its geometric characteristics. Laminar nature of flow of surfaces can be provided by monotonous change of geometric characteristics along the curves that are part of the determinant of the surface. The initial points set and geometrical characteristics of the curve are the initial data for the formation of linear elements of carcass of surface. The methods of formation of plane and spatial curves with regular change of characteristics on the basis of an arbitrary points set is developed. Practical application of the proposed technology is demonstrated by the example of designing working surface of the disk cutter for loosening the soil. The developed technology for the design of surfaces of complex technical products includes the creation of geometric models of surfaces and control programs for their processing on CNC machines. From the initial array of points allocated subset - point sets, on the basis of which the linear elements of the carcass of surface are formed. A computer model of the surface is created on the basis of discretely carcass the line represented by the families of longitudinal and transversal curves. The use of the developed technology makes it possible to reduce the time of creating a computer model of the products and software for processing on CNC machines, to improve the functional properties of surfaces that restrict the product.



УДК 519.246.8

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-264-270

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ТРЕНД-СЕЗОННИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Мацулевич О. Є., к. т. н.,  
Зінов'єва О. Г.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.: (0619) 42-68-62

**Анотація** – в роботі пропонується методика розв'язання задач аналізу тренд-сезонних часових рядів та впливу сезонності при моделюванні економічних процесів. Впровадженню сучасних методів аналізу та прогнозування даних сприяє застосування інформаційних технологій. Спеціалісту, при цьому, залишається тільки дослідницька робота - постановка задачі, оцінка якості отриманих моделей. Для цього необхідно мати відповідну підготовку в області застосування обчислювальної техніки при побудові економіко-математичних моделей, обробці даних та прогнозуванні.

Запропонований у статті спосіб володіє стійкістю з точки зору зміни вихідних даних. Це дозволяє розробленим моделям адекватно реагувати на можливі зміни статистичних характеристик соціально-економічних явищ та процесів. Розроблена методика є універсальною з точки зору обробки статистичних даних та може бути використана для дослідження явищ та процесів в різних областях наукової та господарчої діяльності.

**Ключові слова** – часовий ряд, прогнозування, сезонна компонента, комп'ютерні технології.

*Постановка проблеми.* В наш час методи прогнозування зайняли важливе місце в економічній практиці. Впровадженню цих методів аналізу та прогнозування даних сприяє застосування інформаційних технологій. Для розв'язання задач прогнозування використовується різне програмне забезпечення, наприклад табличний процесор Microsoft Excel, та програмні системи символічної математики (MathCad, Maple) [1, 5]. Всі вони полегшують обчислювальний процес, що дає можливість якісно усвідомити сутність задач прогнозування та аналізу часових рядів.

Зараз вже не треба проводити «ручним» способом громіздкі розрахунки, будувати таблиці та графіки – всю цю роботу виконує

комп'ютер. Спеціалісту залишається тільки дослідницька робота - постановка задачі, оцінка якості отриманих моделей. Для цього необхідно мати відповідну підготовку в області застосування обчислювальної техніки при побудові економіко-математичних моделей, обробці даних та прогнозуванні.

Таким чином, актуальною є проблема застосування, при виконанні поставлених перед проектувальником задач, пакетів прикладних програм.

*Аналіз останніх досліджень.* Існує велика кількість спеціалізованих математичних пакетів. Всі вони дозволяють проводити більшість необхідних математичних розрахунків. Однак, як того потребує сучасність, на кожному підприємстві має бути тільки ліцензоване програмне забезпечення. На кожному підприємстві та в кожній установі України використовується ліцензійне програмне забезпечення, до складу якого обов'язково входить використання ліцензованих програмних пакетів Windows та Microsoft Words. Табличний процесор Excel входить до складу програмних додатків Microsoft Office. Тому є актуальним застосування наявного ліцензованого програмного забезпечення, а саме пакету Microsoft Excel, при розв'язанні завдань по виявленню сезонних коливань в часовому ряді [4]. Звісно, цей програмний засіб поступається спеціалізованим програмним математичним пакетам, але за його допомогою може бути розв'язана велика кількість економіко-математичних задач.

*Формулювання цілей статті.* В даній роботі пропонується методика розрахунку тренд-сезонних економічних процесів.

*Основна частина.* Первинною задачею моделювання тренд-сезонних характеристик пропонованого процесу є визначення наявності у часовому ряді сезонних коливань. Для виділення компонент часового ряду використовується метод Четверикова [2]. Даний підхід програмно реалізований із застосуванням табличного процесору Excel.

Вплив сезонності на економіку виявляється в аритмії виробничих процесів. Вміння вимірювати і аналізувати зміни економічного процесу дозволяє прогнозувати і впливати на розвиток процесів, залежних від сезонних коливань [3].

Часовий ряд економічних показників можна розкласти на чотири структурних елементи:

- тренд  $U_t, (t = \overline{1, n})$ ;
- сезонну компоненту  $V_t, (t = \overline{1, n})$ ;
- циклічну компоненту  $C_t, (t = \overline{1, n})$ ;
- випадкову компоненту  $\varepsilon_t, (t = \overline{1, n})$ .

У роботі стоїть задача виявлення в часовому ряду сезонних коливань.

Першим кроком для побудови моделі є вирівнювання наданих рівнів ряду методом “Ковзної середньої”. Для цього використовується інструмент пакету аналізу (*Сервис/Анализ данных*) “Скользящее среднее”.

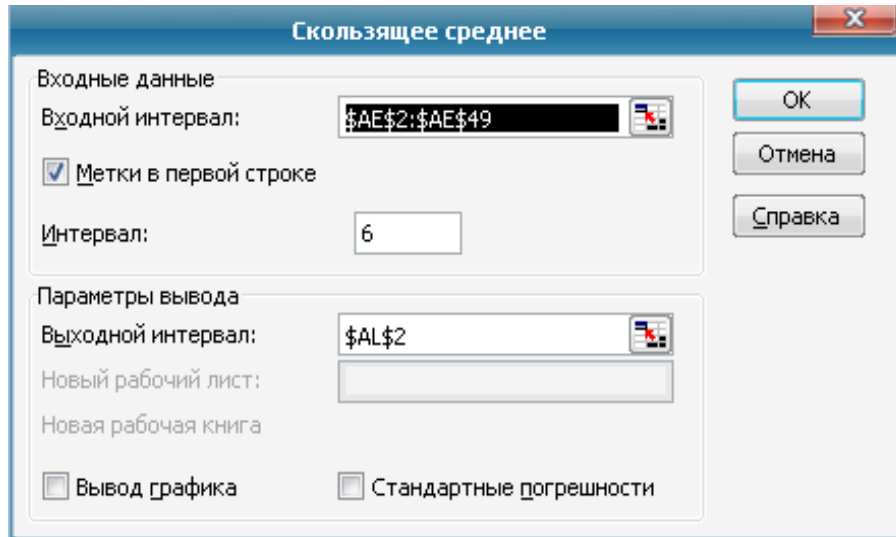


Рис. 1. Діалогове вікно «Скользящее среднее».

В результаті отримується попередня оцінка тренду  $\tilde{Y}_t = U'_t$ .

На другому кроці пропонуваного в роботі алгоритму знаходяться відхилення емпіричного ряду від вирівняного

$$l_{ij} = Y_{ij} - \tilde{Y}_{ij}, \quad (1)$$

де  $i$  – номер року;  $j$  – номер внутрірічного періоду (місяця).

Відхилення визначаються як різниця масивів ( $=\{B3:M9-B13:M19\}$ ).

На третьому кроці для кожного року  $i$  обчислюється середнє квадратичне відхилення  $\sigma_i$  за допомогою статистичної функції СТАНДОТКЛОН, на яке  $i$  діляться окремі місячні відхилення відповідного року  $\tilde{l}_{ij} = \frac{l_{ij}}{\sigma_i}$ .

Четвертий крок передбачає із нормованих таким чином відхилень обчислення попередніх сезонних хвиль  $V_j^1$ :

$$V_j^1 = \frac{\sum_{j=1}^m \tilde{l}_{ij}}{m}, \quad (2)$$

де  $m$  – кількість років.

На п'ятому кроці алгоритму попередня сезонна хвиля множиться на середньоквадратичне відхилення кожного року за допомогою функції МУМНОЖ і відраховується з емпіричного ряду:

$$U_{ij}^{(1)} = Y_{ij} - V_j^1 \sigma_i. \quad (3)$$

Отриманий таким чином ряд, позбавлений попередньої сезонної хвилі, знов згладжується ковзною середньою за допомогою інструменту «Скользящее среднее». В результаті отримують нову оцінку тренду  $U_{ij}^{(2)}$ .

На шостому етапі розрахунку відхилення емпіричного ряду від ряду  $U_{ij}^{(2)}$  знову піддаються обробці за попередніми пунктами алгоритму для виявлення остаточної середньої сезонної хвилі  $V_j^{(2)}$ .

Виключення остаточної сезонної хвилі виконується після множення середньої сезонної хвилі на коефіцієнт напруги  $k_i$ :

$$k_i = \frac{\sum_{j=1}^{T_0} l_{ij}^{(2)} \varepsilon_{ij}}{\sum_{j=1}^{T_0} \varepsilon_{ij}^2}, \quad (4)$$

де  $l_{ij}^{(2)}$  – вирівняні значення ряду;

$\varepsilon_{ij}$  – залишкова компонента  $\varepsilon_{ij} = l_{ij}^{(2)} - V_j^{(2)}$ .

За допомогою коефіцієнта напруги обчислюються остаточні значення сезонної компоненти часового ряду із використанням функції МУМНОЖ

$$V_j = V_j^{(2)} k_i. \quad (5)$$

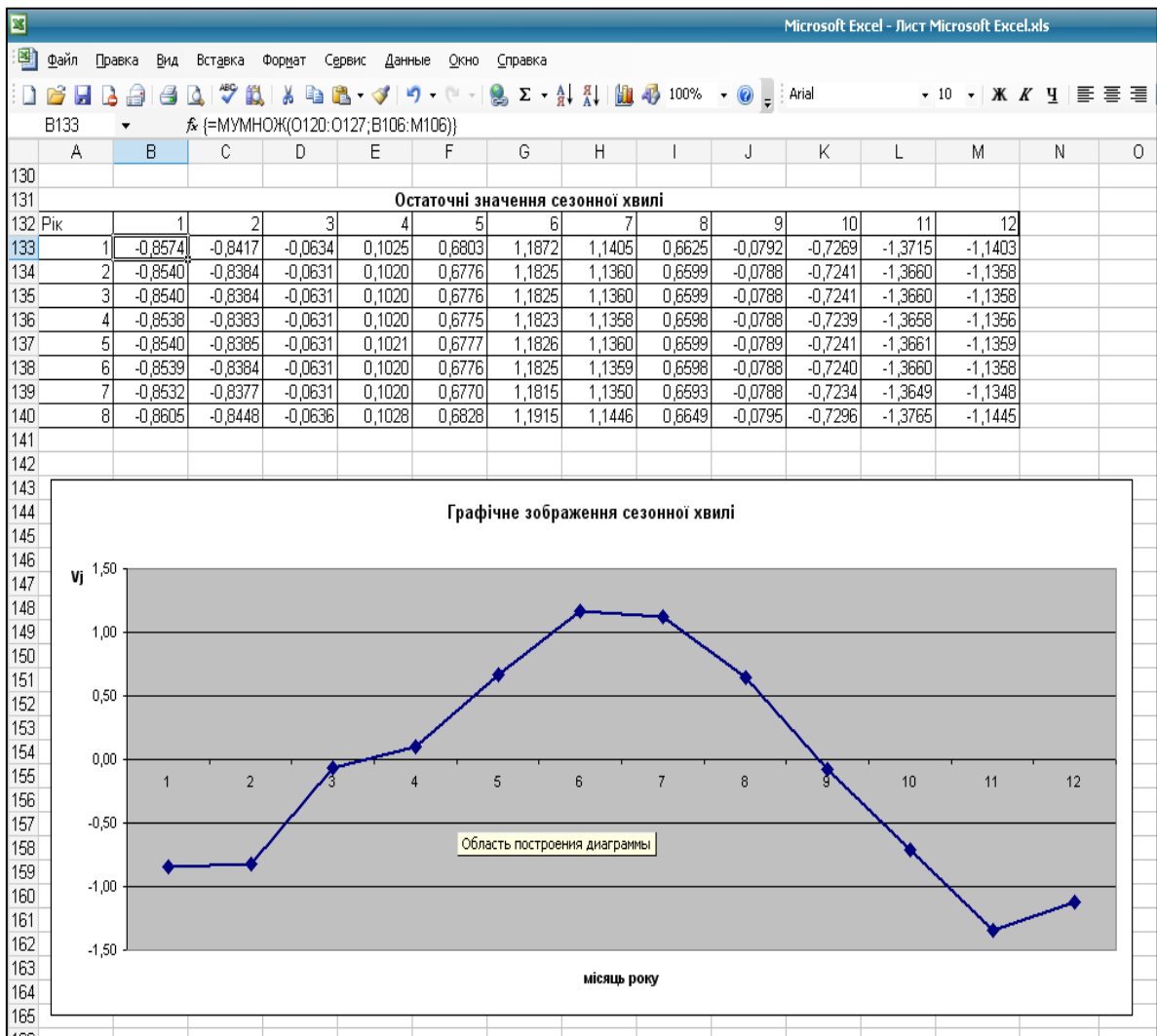


Рис. 2. Результати розрахунку сезонної хвилі.

Таким чином, аналіз даних часового ряду виявляє сезонну складову. Кількісну характеристику цієї сезонності дає сезонна хвиля.

Використання значень сезонної компоненти є невід'ємною частиною при прогнозуванні економічних процесів. Це дозволяє отримувати більш достовірні показники, які характеризують діяльність досліджуваних об'єктів.

*Висновки.* Запропонований метод аналізу сезонності дозволяє оцінювати сезонну складову при аналізі економічних процесів. Це сприяє проведенню якісного геометричного моделювання соціально-економічних явищ та процесів на основі побудови адекватних економіко-математичних моделей. Застосування, при цьому, табличного процесору Excel дає проектувальнику можливість економії часу при проведенні обчислень та дозволяє вдосконалити вміння пошуку інформації для розв'язання поставленої задачі.

## Література:

1. *Бережная Е. В., Бережной В. И.* Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие. Москва: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
2. *Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Москва: Мир, 1974. 406 с.
3. *Власов М. П., Шимко П. Д.* Моделирование экономических процессов. Ростов н/Д : Феникс, 2005. 409 с.
4. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Дж. Мур и др. 6-е изд. Пер. с англ. Москва: Вильямс, 2004. 1024 с.
5. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебное пособие для вузов / В. В. Федосеев и др.; под ред В. В. Федосеева. Москва: ЮНИТИ, 2002. 391 с.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ТРЕНД-СЕЗОННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Мацулевич А. Е., Зиновьева О. Г.

**Аннотация** – в работе предлагается методика решения задач анализа тренд-сезонных временных рядов и влияния сезонности при моделировании экономических процессов. Внедрению современных методов анализа и прогнозирования данных способствует применение информационных технологий. Специалисту, при этом, остается только исследовательская работа – постановка задачи, оценка качества полученных моделей. Для этого необходимо иметь соответствующую подготовку в области применения вычислительной техники при построении экономико-математических моделей, обработке данных и прогнозировании.

Предложенный в статье способ обладает устойчивостью с точки зрения изменения исходных данных. Это позволяет разработанным моделям адекватно реагировать на возможные изменения статистических характеристик социально-экономических явлений и процессов. Разработанная методика является универсальной с точки зрения обработки статистических данных и может быть использована для исследования явлений и процессов в различных областях научной и хозяйственной деятельности.

## THE DECISION OF PROBLEMS OF THE ANALYSIS TREND - SEASONAL TIME NUMBERS

A. Matsulevych, O. Zinovieva

### *Summary*

**In work the technique of the decision of problems of the analysis of trend - seasonal time numbers and influences of seasonal prevalence is offered at modeling economic processes. Introduction of modern methods of the analysis and forecasting of the data is promoted by application of information technologies. The expert, thus, still has only research work - statement of a problem, an estimation of quality of the received models. For this purpose it is necessary to have corresponding preparation in a scope of computer facilities at construction of economic-mathematical models, data processing and forecasting.**

**The method of the analysis of seasonal prevalence offered by authors allows estimating a seasonal component at the analysis of economic processes. It promotes carrying out of qualitative geometrical modeling of the social and economic phenomena and processes on the basis of construction of adequate economic-mathematical models. Application, thus, tabulated processor Excel enables the designer of economy of time at carrying out of calculations and allows to improve skill of information search for the decision of a task in view.**

**The method which proposed in this article is stable in terms of changes in the given data. This allows the developed models to adequately respond to possible changes in the statistical characteristics of socio-economic phenomena and processes. The developed technique is universal from the point of view of statistical data processing and can be used to study phenomena and processes in various fields of scientific and economic activity.**

УДК 514.182.7:519.651

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-271-277

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧОЇ ФУНКЦІЇ

Пихтєєва І. В., к. т. н.,

Івженко О. В., к. т. н.,

Зінов'єва О. Г.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел. (0619) 42-68-62

*Анотація* – в роботі розглядається метод розв'язання задач економіко-математичного моделювання виробничих процесів, які виражають залежність результатів виробництва від витрат виробничих факторів. При аналізі попередніх досліджень авторами зазначено, що аналіз ефективності використання ресурсів здійснюється із використанням функції регресії. Але, якщо аналіз ефективності використання ресурсів не є змістом дослідження, то функція регресії може відігравати роль виробничої функції. Пропонований метод оснований на використанні дискретного геометричного моделювання виробничої функції. Для отримання рішення використовується дискретна апроксимація за критерієм дискретного методу найменших квадратів (ДМК) регресивної моделі виробничої функції (ВФ). Авторами запропоновано кусково-лінійний розв'язок, що має кращий показник критерію.

Застосування табличного процесора Excel дає проектувальнику можливість економії часу при проведенні обчислень і дозволяє вдосконалити вміння пошуку інформації для вирішення поставленого завдання.

*Ключові слова* – корекція, дискретна апроксимація, кусково-лінійна регресія, виробнича функція, метод найменших квадратів, дискретний точковий ряд.

*Постановка проблеми.* Виробничі функції отримали значне поширення в економіко-математичному моделюванні виробничих процесів. Вони виражають залежність результатів виробництва від витрат виробничих факторів, наприклад, врожайності - від кількості внесених добрив [1, 3, 4]. Основне призначення виробничих функцій (ВФ) складається у визначенні найбільш доцільного поєднання



виробничих факторів з метою одержання максимального значення результативної ознаки при мінімальних витратах виробничих факторів.

Виробничі функції можуть бути представлені дискретним точковим рядом (табличні) або задані (графічно або аналітично). Задачею неперервного аналізу є перехід від дискретної або графічної інформації до неперервної у вигляді аналітичної залежності, що є основною при подальшому оперуванні з ВФ. В даний час при створенні ВФ використовуються методи регресійного і кореляційного аналізу. Існуючі методи неперервного моделювання припускають побудову неперервної моделі, тобто одержання рівняння лінії регресії по заданих дискретних реалізаціях процесу. Такий підхід виправданий тоді, коли потрібно визначити при заданому довільному  $x = \bar{x}$  значення результативної ознаки  $y = \bar{y}$ . Проблема в тому, що у багатьох задачах ціль моделювання полягає по суті в корекції вихідних даних і визначенні значень результативної ознаки при тих же значеннях абсцис, узятих для точок вихідного ряду [1, 3, 4]. У цьому випадку доцільно застосувати дискретний метод найменших квадратів, як при завданні виду апроксимуючої функції (функції регресії) так і без нього. Такі задачі апроксимації довільного точкового ряду дискретним МНК вирішувалися нами раніше без регламентації опуклості ДПК рішення або з регламентацією опуклості. Найкращих результатів апроксимації можна досягти застосуванням кускових або кусково-гладких наближень.

*Аналіз останніх досліджень.* При побудові регресійних моделей у відповідній літературі припускають нормальний закон розподілу двовимірної випадкової величини  $(X, Y)$  і тому застосовують, як правило, як обчислювальний метод найменших квадратів [1, 2, 7, 8]. У докторській дисертації Найдіша А. В. всебічно досліджені регресійні моделі на основі методів НСВ і НГВ [6]. При цьому враховувалася змістовна сторона моделюємої задачі, що вимагає мінімізації саме зазначених критеріїв і не розглядалась регресійна модель на основі МНК.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є розробка методу розв'язання задач економіко-математичного моделювання, зокрема при складанні виробничих функцій (ВФ). Розрахунок базової ВФ із метою визначення ефективності використання ресурсів здійснюється за методом ДМНК.

*Основна частина.* Розглянемо кусково-лінійний розв'язок задачі, запозиченої з [5], по визначенню залежності між вартістю необхідних запасних частин (тис.грн.) і обсягом механізованих робіт (тис. га м'якої оранки) для сукупності 10 приблизно однорідних господарств. Вихідні дані представлені в табл. 1. На рис. 1 представлені вихідні дані і тонкою суцільною лінією проведена пряма лінія регресії, отримана в [5]. Її рівняння

$$y = 0,1276x + 14,71. \quad (1)$$

Таблиця 1 – Порівняння результатів неперервної прямолінійної і кусково-лінійної дискретної регресії.

i	x	y	Пряма МНК – регресії		Кусково-лінійна регресія	
			$\bar{y}$	$\bar{\Delta}$	$\bar{y}$	$\bar{\Delta}$
1	2	3	4	5	6	7
			$a_0 = 14,71;$ $a_1 = 0,1276$			
1	34	20,0	19,05	+0,95	19,2426	+0,7574
2	45	20,0	20,45	-0,35	20,5308	-0,4308
3	53	20,4	21,47	-1,07	21,4676	-1,0676
4	58	21,6	22,11	-0,51	22,0531	-0,4531
5	70	28,2	23,64	+4,56	23,4584	+4,7416
6	72	21,8	23,90	-2,10	23,6925	-1,8925
7	78	23,8	24,67	-0,87	24,5413	-0,7413
8	87	24,2	25,81	-1,61	25,8143	-1,6143
9	91	25,9	26,32	-0,42	26,3802	-0,4802
10	104	29,4	27,98	+1,42	28,2195	+1,1805
F				33,1754		32,9483

Першим етапом побудови лінії регресії є аналіз вихідних даних і виключення грубих промахів. На перший погляд може показатися, що т.5 ( $y = 28,2$ ) є грубим промахом. Однак статистичний аналіз за критерієм  $t$  - Стюдента показує її значимість. Тому її виключати не можна. Тим більше, що в рішенні [5] для порівняння вона не виключена.

Апроксимуючу криву представимо ламаною лінією зі зломом у т. 6. Рішення будемо проводити відповідно до методики глобального кусково-лінійного наближення [8].

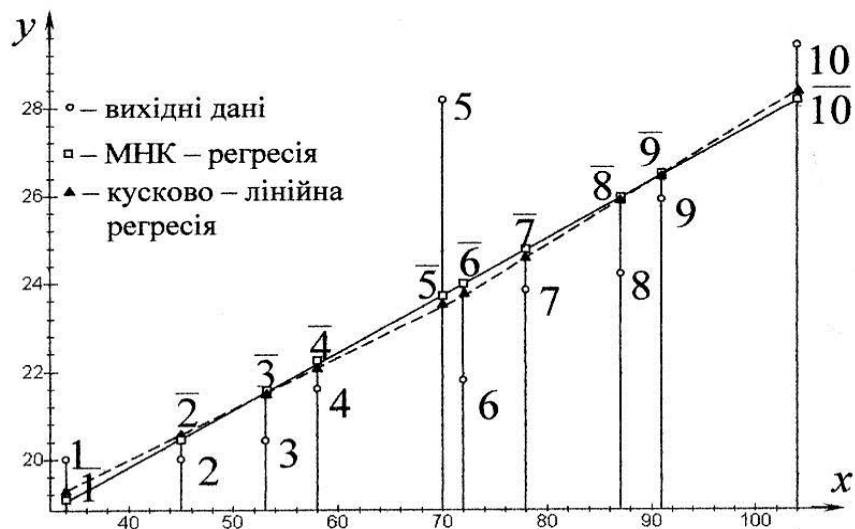


Рис. 1. Лінії регресії виробничих функцій.

Алгоритм.

1. Співвідношення між ординатами точок моделюючої прямої лінії на рівномірній сітці мають вигляд:

$$\overline{y_{i-1}} - 2\overline{y_i} + \overline{y_{i+1}} = 0, \quad i = \overline{1; n-1}. \quad (2)$$

Для прямолінійного точкового ряду можна скористатися рекурентним співвідношенням або глобальним співвідношенням:

$$y_k = \delta^1 \sum_{i=1}^k h_i + y_0, \quad k = \overline{1; n}. \quad (3)$$

виражаючим ординату  $K$ -ї точки ряду через значення 1-ї поділеної різниці  $\delta^1$  і параметра  $y_0$  (ордината початкової точки).

2. Керуючими ординатами виберемо  $\overline{y_1}, \overline{y_6}$  і  $\overline{y_{10}}$ . Скористаємося дискретним представленням прямої лінії і запишемо ординати інших точок у залежності від обраних

$$\begin{aligned} \overline{y_k} &= \overline{y_1} + \frac{\overline{y_6} - \overline{y_1}}{x_6 - x_1} (x_k - x_1), \quad k = 2 \dots 5; \\ \overline{y_s} &= \overline{y_6} + \frac{\overline{y_{10}} - \overline{y_6}}{x_{10} - x_6} (x_s - x_6), \quad s = 7 \dots 9, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $y_k, y_s$  – ординати відповідно  $k$  – ї, та  $s$  – ї точки.

3. Цільова функція

$$\begin{aligned} F &= (y_1 - \overline{y_1})^2 + (y_2 - 0,7105\overline{y_1} - 0,2895\overline{y_6})^2 + (y_3 - 0,5\overline{y_1} - 0,5\overline{y_6})^2 + \\ &+ (y_4 - 0,3684\overline{y_1} - 0,6316\overline{y_6})^2 + (y_5 - 0,0526\overline{y_1} - 0,9474\overline{y_6})^2 + (y_6 - \overline{y_6})^2 + \\ &+ (y_7 - 0,8125\overline{y_6} - 0,1875\overline{y_{10}})^2 + (y_8 - 0,5313\overline{y_6} - 0,4687\overline{y_{10}})^2 + \\ &(y_9 - 0,4063\overline{y_6} - 0,5937\overline{y_{10}})^2 + (y_{10} - \overline{y_{10}})^2 = \min \end{aligned} \quad (5)$$

4. Диференціюється  $F$  по кожному з параметрів

$$\frac{\partial F}{\partial y_i} = 0, \quad i = \overline{0; k}, \quad i = \overline{0; S}; \quad (6)$$

5. Розв'язуючи відповідно до алгоритму, визначаємо

$$\overline{y_1} = 19,2426, \quad \overline{y_6} = 23,6925, \quad \overline{y_{10}} = 28,2195.$$

6. Тепер розраховуємо ординати інших точок і їхнього відхилення від заданих. Значення критерію  $F = 32,9483$  краще, ніж при неперервній прямолінійній регресії, де  $F = 33,1754$ . Результуюча

ламана представлена на рис.1 штриховою лінією, результати розрахунків представлені в табл.1.

Розв'язок, як бачимо, і в першому і в другому випадку сильно зміщено убік “точка, що випадає” 5. При її виключенні або застосуванні вагових коефіцієнтів, що нівелюють її вплив на остаточний результат, значення критерію було б значно менше. Ще кращих результатів можна було досягти при кусково - параболічній апроксимації ряду двома параболою, з'єднаними в точці 6.

У економіко-математичній літературі [1, 4] підкреслюється, що функція регресії - це ще не виробнича функція, оскільки вона (функція регресії) відбиває статистичну ситуацію, сформовану на визначений момент часу. Її не можна використовувати для прогнозування і розробки стратегічних питань господарювання, тому що вона не відбиває фактор ефективності виробництва [1]. Функція регресії служить первісним етапом для створення виробничої функції. З цією метою вона піддається корекції по спеціальних алгоритмах [1, 4] доти, поки співвідношення між розрахунковими і фактичними показниками не досягнуть визначеного рівня, після чого вона стає базовою виробничою функцією (ВВФ), розрахунки відповідно до якої мають сенс і значення для будь-якого об'єкта сукупності [4]. Процес відшукування значень коефіцієнтів ВФ, а також її аналізу й оцінки називається економіко - статистичним моделюванням [2]. У нашому випадку ВФ є дискретною, її рівняння не відшукується, відшуковуються її значення на заданій сітці абсцис. Тому методика корекції функції регресії з урахуванням середньої ефективності по сукупності господарств (підрозділів, напрямків) буде трохи іншою.

*Висновки:* Коли питання аналізу ефективності використання ресурсів не є змістом дослідження, то функція регресії може відігравати роль виробничої функції. У цьому випадку якісному аналізу отриманих результатів необхідно приділити більше уваги, оскільки вони є відправною точкою для прийняття управлінських рішень по удосконалюванню виробництва.

#### Література:

1. *Василенко Ю. В.* Математические методы анализа в сельском хозяйстве. Киев: Урожай, 1982. 104 с.
2. *Товма И. П., Косица И. А.* Об одном из способов построения производственной функции // Экономико-математические методы и вычислительная техника в управлении сельскохозяйственным производством. Харьков, 1987. С. 64–69.
3. *Хеди Э., Диллон Д.* Производственные функции в сельском хозяйстве. Москва: Прогресс, 1965. 600 с.
4. Методические рекомендации по определению базисной производственной функции и применению ее для анализа и

планирования сельскохозяйственного производства. Киев: Урожай, 1980. 75 с.

5. *Загайтов И. Б.* Об использовании способа минимальных отклонений в экономических исследованиях // Вестник статистики. 1969. № 7. С. 22–31.

6. *Найдыш А. В.* Решение экономических задач по критерию наименьшей суммы отклонений (НСО) // Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ, 1998. Вип. 18. С. 262–266.

7. *Найдыш В. М., Пыхтеева И. В.* Дискретный метод наименьших квадратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка Київ: КДТУБА, 1997. Вип. 62. С. 19–22.

8. *Пыхтеева И. В.* Кусковая дискретна МНК – апроксимація // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2004. Вип. 4, т. 24. С. 103–109.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

Пыхтеева И. В., Ивженко А. В., Зиновьева О. Г.

*Аннотация* – в работе рассматривается метод решения задач экономико-математического моделирования производственных процессов, которые отображают зависимость результатов производства от затрат производственных факторов. При анализе предыдущих исследований авторами отмечено, что анализ эффективности использования ресурсов осуществляется с использованием функции регрессии.

Применение, при этом, табличного процессора Excel дает проектировщику возможность экономии времени при проведении вычислений и позволяет усовершенствовать умение поиска информации для решения поставленной задачи.

## THE DECISION OF TASKS OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELLING ON THE BASIS OF DISCRETE GEOMETRICAL MODELLING PRODUCTION FUNCTION

I. Pyhteeva, A. Ivzhenko, O. Zinovieva

### *Summary*

In work the method of the decision of tasks of economic-mathematical modeling of productions which display dependence of results of manufacture on expenses of production factors is considered.

**At the analysis of the previous researches by authors it is marked, that the analysis of efficiency of use of resources is carried out with use of function of regress.**

**But, if the analysis of efficiency of use of resources is not the maintenance of research function of regresses can be submitted as production function. The offered method is based on use of discrete geometrical modeling of production function. For reception of the decision discrete approximation by criterion of a discrete method of the least squares (DMLS) of regressive model of production function (PF) is used.**

**Authors the piecewise-linear decision of a task in view which has the best parameter of criterion is offered.**

**A technique for solving analysis problems in modeling economic processes is proposed. The use of information technologies contributes to the introduction of modern methods of data analysis and forecasting. A specialist, at the same time, only research work remains - setting the task, assessing the quality of the models obtained. To do this, you must have adequate training in the field of application of computing technology in the construction of economic and mathematical models, data processing and forecasting.**

**At the same time, using the Excel spreadsheet processor gives the designer the opportunity to save time during the calculations and allows you to improve the ability to search for information to solve the problem.**

УДК 514

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-278-287

## СПОСІБ ПОБУДОВИ ДОТИЧНИХ У ВУЗЛАХ СПИРАЛЕПОДІБНИХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНИХ КРИВИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ

Щербина В. М., к. т. н.,  
Мацулевич О. Є., к. т. н.,  
Коломієць С. М., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-68-62

**Анотація** – у роботі досліджується дискретна інтерполяція неоднозначних дискретно представлених кривих (ДПК) довільної конфігурації в локальній системі координат та глобальне формування вузлових дотичних на основі застосування, для проектування, спеціальної функції, які гарантують відсутність осциляції всього обводу.

Дослідження полягає в виявленні можливості використання неперервного геометричного моделювання на основі спеціальної функції і призначення дотичних у вузлах вихідної ДПК при локальних методах згущення та глобальне призначення дотичних при методах згущення спіралеподібних та замкнених кривих ліній на основі спеціальної функції.

Представлений у роботі спосіб згущення дискретно представлених кривих (ДПК), дозволяє, окрім методів глобальної інтерполяції зазначених кривих, використовувати методику локальної неперервної інтерполяції.

**Ключові слова** – геометричне моделювання, дискретна інтерполяція, спіралеподібна дискретно представлена крива (ДПК), супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ), дотична, спеціальна функція.

**Постановка проблеми.** Методи геометричного моделювання розділяють на неперервне та дискретне. Застосування неперервного моделювання особливо зручно при розв'язанні траєкторних задач у системах ЧПК, пошуку екстремуму і т. ін. При цьому в пам'яті ЕОМ зберігаються вихідні дані – точки, а точки масиву, що згущається, розраховуються в міру необхідності. Однак, відомі методи не дають повної гарантії відсутності осциляції, передбачити результат на кінцевих ділянках заданого точкового ряду неможливо, а отже, виникає необхідність у корегуванні коефіцієнтів і перерахуванні.

Щоб уникнути громіздких обчислень і великих похибок доцільним є застосування локального методу моделювання з наступним переходом до глобальної системи координат.

*Аналіз останніх досліджень.* Попередні публікації [1] розглядають можливість використання спеціальної функції як інтерполюючої при моделюванні і керуванні формою замкнених і спіралеподібних ДПК, з орієнтацією на моделювання в системах ЧПК, коли доцільно скористатися саме локальними наближеннями на кожній з ланок СЛЛ у локальній системі координат  $O\bar{X}\bar{Y}$ , де вісь  $O\bar{X}$  збігається з розглянутою ланкою, а початок координат – з початковою точкою ланки, але наведені можливості використання функції не розвинуті.

*Формулювання цілей статті.* Ціль дослідження полягає в виявленні можливості використання неперервного геометричного моделювання на основі спеціальної функції і призначення дотичних у вузлах вихідної ДПК при локальних методах згущення та глобальне призначення дотичних при методах згущення спіралеподібних та замкнених кривих ліній на основі спеціальної функції.

*Основна частина.* Застосовуючи неперервну інтерполяцію, неможливо передбачити результат на кінцевих ділянках заданого точкового ряду, а отже виникає необхідність у корегуванні коефіцієнтів і перерахуванні. Щоб уникнути громіздких обчислень і великих помилок доцільним є застосування локального методу моделювання з наступним переходом у глобальну систему координат.

Наші дослідження показали, що при інтерполяції спіралеподібних ДПК з орієнтацією на моделювання в системах ЧПК доцільно скористатися саме локальними наближеннями на кожній з ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ) у локальній системі координат  $O\bar{x}\bar{y}$ , де вісь  $O\bar{x}$  збігається з розглянутою ланкою, а початок координат – з початковою точкою ланки (рис. 1).

У цій системі координат поставленим задачам відсутності осциляції спіралеподібного обводу в цілому і забезпечення гладкого стикування окремих ланок у вузлах ДПК у найбільшій мірі, на нашу думку, відповідає спеціальна функція

$$\bar{y} = (a\bar{x} + b) \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2}, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, що забезпечують гладке стикування ланок,  $l_i$  – довжина ланки  $(i-1; i)$  СЛЛ. Очевидно, що при  $\bar{x}=0$  і  $\bar{x}=l_i$   $\bar{y}=0$ , тобто крива проходить через кінцеві точки відрізка.

Визначимо коефіцієнти  $a$  і  $b$  у припущенні, що у вузлах ДПК деяким чином задані дотичні до майбутнього обводу. Звернемося до рис. 1.



Кути, що складають дотичні до обводу (рис. 1) в точках  $i-1$  і  $i$  з локальною віссю  $O\bar{x}$ , є

$$\bar{\beta}_{i-1} = \beta_{i-1} - \alpha_i; \quad \bar{\beta}_i = \beta_i - \alpha_i \quad (2)$$

де  $\alpha_i$  і  $\beta_i$  – кути нахилу ланок СЛЛ і дотичних до осі  $Ox$  глобальної системи координат.

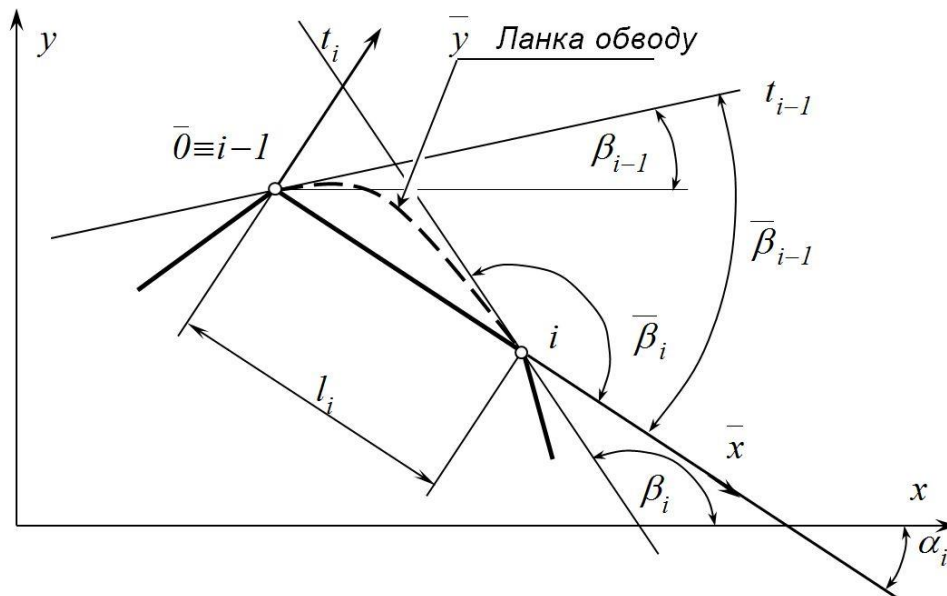


Рис. 1. Положення дотичних до ДПК.

Значення першої похідної  $\bar{y}'_{i-1}$  й  $\bar{y}'_i$  у локальній системі координат дорівнюють

$$\bar{y}'_{i-1} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}; \quad \bar{y}'_i = \operatorname{tg} \bar{\beta}_i. \quad (3)$$

Диференціюємо (1) по  $\bar{x}$

$$\bar{y}' = a \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2} + (a\bar{x} + b) \frac{l_i - 2\bar{x}}{l_i^2} \cdot \cos \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2} \quad (4)$$

$$\text{при } \bar{x} = 0: \quad \bar{y}'_{i-1} = \frac{b}{l_i} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}; \quad b = l_i \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}, \quad (5)$$

$$\text{при } \bar{x} = l_i: \quad \bar{y}'_i = \frac{al_i + b}{-l_i} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_i. \quad \text{З урахуванням (5) маємо}$$

$$a = -(\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1} + \operatorname{tg} \bar{\beta}_i). \quad (6)$$

Підставляючи (5) і (6) у (1) маємо рівняння інтерполяційної функції в локальній системі координат

$$\bar{y} = \left\{ (l_i - \bar{x}) \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1} - \bar{x} \operatorname{tg} \bar{\beta}_i \right\} \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2}. \quad (7)$$

Перша похідна описується рівнянням (4) з урахуванням  $a$  з (6) і  $b$  з (5). Очевидно, що щоб уникнути осциляції кривої дотична в  $i$ -ому вузлі повинна розташовуватися так, щоб її кут нахилу  $\beta_i$  задовольняв обмеженням  $\alpha_{i+1} < \beta < \alpha_i$ . Крім того, функція (7) вимагає додаткових обмежень. Як показали дослідження її графік не осцилює на відрізку  $[0; l_i]$ , коли  $k = \text{tg}\beta_{i-1} / \text{tg}\beta_i$ ;  $k \in [-2; -0.5]$ .

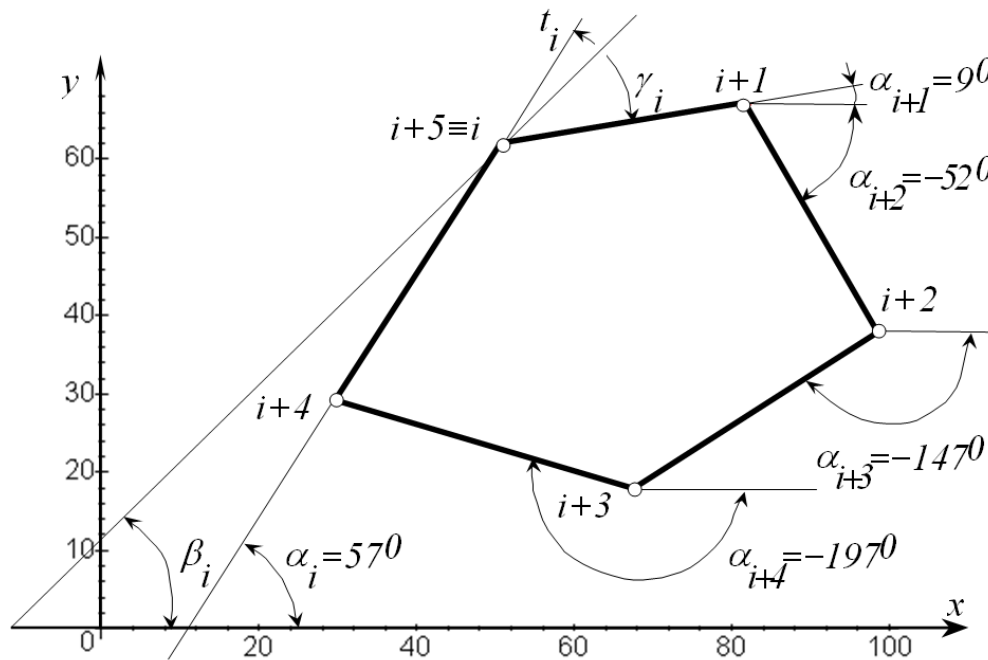


Рис. 2. Призначення кутів суміжності ДПК.

Таким чином, задача формування дотичних у вузлах ДПК зводиться до задачі побудови неосцилюючого дискретного графіка  $\beta_l$  в смузі  $\alpha_i$  (рис. 3) з урахуванням обмежень на коефіцієнт  $k$ . Уздовж осі  $Ox$  відкладаємо довжини ланок  $l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ . По суті це розгорнення ДПК, співпадаюче з віссю абсцис. Уздовж осі ординат відкладаємо значення кутів  $\alpha_i$  нахилу  $i$ -ї ланки до осі  $Ox$ . Діапазон, відзначений на графіку, буде визначати значення  $\gamma_i$ . З'єднавши послідовно верхні і нижні границі ділянок, одержуємо смугу кутів суміжності  $\gamma_i$  для заданої ДПК, що визначає область вибору і призначення кутів  $\beta_i$  дотичних у вузлах. Відповідно до отриманого раніше алгоритму [2] формується з урахуванням обмежень на  $k$  опуклий графік  $\beta_i$  в смузі  $\gamma_i$  (рис. 3).

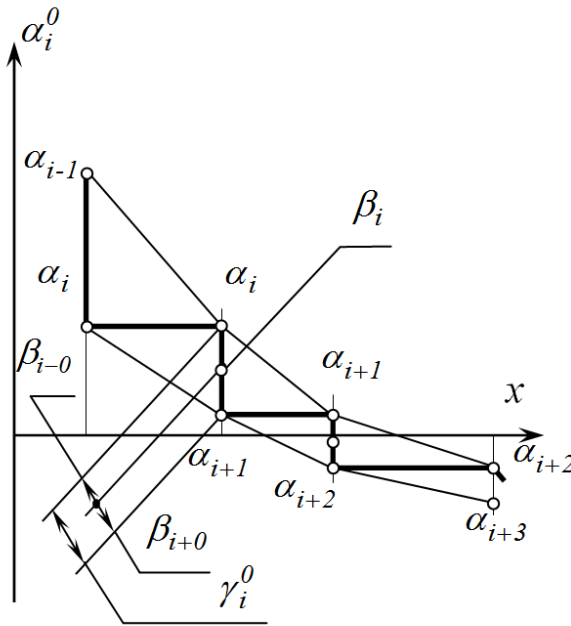


Рис. 3. Побудова дискретного графіка  $\beta_i$ .

Дотична  $t_i$  у вузлі  $i$  (рис. 4) складає з віссю  $OX$  кут  $\beta_i$ , з попередньою ланкою  $(i-1, i)$  СЛЛ - кут  $\bar{\beta}_{i-0}$ , з наступною - кут  $\bar{\beta}_{i+0}$ .

Тангенси кутів  $\bar{\beta}_{i-1+0}$  і  $\bar{\beta}_{i-0}$  зв'язані співвідношенням

$$k_i = \frac{\text{tg} \bar{\beta}_{i-1+0}}{\text{tg} \bar{\beta}_{i-0}} ; \text{tg} \bar{\beta}_{i-0} = \frac{1}{k_i} \cdot \text{tg} \bar{\beta}_{i-1+0} \quad (9)$$

Аналогічно

$$\begin{aligned} \text{tg} \bar{\beta}_{i+1-0} &= \frac{1}{k_{i+1}} \cdot \text{tg} \bar{\beta}_{i+0}, \\ \text{tg} \bar{\beta}_{i+2-0} &= \frac{1}{k_{i+2}} \cdot \text{tg} \bar{\beta}_{i+1+0}, \dots \end{aligned} \quad (10)$$

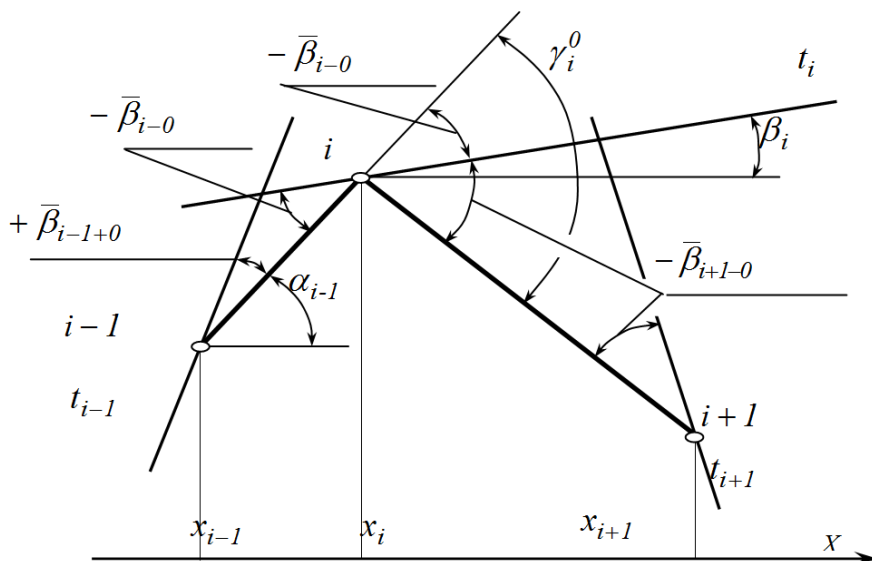


Рис. 4. Область можливого розташування ДПК.

З огляду на те, що

$$\bar{\beta}_{i+0} = \gamma_i^0 + \bar{\beta}_{i-0}, \quad i = \overline{1; n-1} \quad (11)$$

з (10) з урахуванням (11) маємо

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \bar{\beta}_{1-0} &= \frac{1}{k_1} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{0+0}; \operatorname{tg} \bar{\beta}_{2-0} = \frac{1}{k_2} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{1+0} = \frac{1}{k_2} \operatorname{tg} (\gamma_1^0 + \bar{\beta}_{1-0}) \\ \operatorname{tg} \bar{\beta}_{3-0} &= \frac{1}{k_3} \operatorname{tg} (\gamma_2^0 + \bar{\beta}_{2-0}) \dots \text{т.д.} \end{aligned} \quad (12)$$

Очевидно, що  $\bar{\beta}_{i-0} = \beta_i - \alpha_{i-1}$ ;  $\bar{\beta}_{i+0} = \beta_i - \alpha_i$  (8). Стратегія подальшого пошуку множини кутів  $\bar{\beta}_{i-0}$  і  $\bar{\beta}_{i+0}$ ,  $i = \overline{1; n-1}$  складається в такому призначенні кутів  $\beta_i$  нахилу дотичних, щоб дотримувалися дві умови:

– положення точки  $\beta_i$  в смугі  $\alpha_i$ , тобто на відрізку  $\alpha_{i-1} \alpha_i$ , а саме

$$\alpha_i < \beta_i < \alpha_{i-1}; \quad (13)$$

– значення кутів  $\bar{\beta}_{i-0}$  і  $\bar{\beta}_{i+0}$  повинні задовольняти умові (9).

Приведемо співвідношення (12) до кутів  $\beta_i$  на підставі (6). Ураховуючи, що  $\gamma_i = \alpha_{i-1} - \alpha_i$ , маємо

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\beta_1 - \alpha_0) &= \frac{1}{k_1} \operatorname{tg}(\beta_0 - \alpha_0); \operatorname{tg}(\beta_2 - \alpha_1) = \frac{1}{k_2} \operatorname{tg}(\beta_1 - \alpha_1); \\ \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_2) &= \frac{1}{k_3} \operatorname{tg}(\beta_2 - \alpha_2) \dots \text{і т.д.} \end{aligned} \quad (14)$$

Для того, щоб звести обмеження (13) і співвідношення (14) у єдину систему, необхідно перейти від тангенсів кутів у (14) до самих кутів. Відомо, що функцію  $\operatorname{tg} x$  можна розкласти в ряд Тейлора

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 + \dots \quad (15)$$

При моделюванні реальних ДПК значення  $x$  у радіанах менше одиниці і з кожним наступним кроком згущення наближається до нуля. Крім того, розв'язання системи (13)+(14) полягає не у визначенні точного значення, а у визначенні відрізка, з якого вибирається шукане рішення, що задовольняє заданим умовам. Усе це дозволяє нам у розкладанні (15) обмежитися першим членом, тобто  $\operatorname{tg} x \approx x$

Тоді з (14) маємо

$$\beta_1 - \alpha_0 = \frac{1}{k_1}(\beta_0 - \alpha_0); \beta_2 - \alpha_1 = \frac{1}{k_2}(\beta_1 - \alpha_1); \beta_3 - \alpha_2 = \frac{1}{k_3}(\beta_2 - \alpha_2) \dots \quad (16)$$

Перетворимо з урахуванням (13)

$$\alpha_1 < \beta_1 = \frac{\beta_0}{k_1} + \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) < \alpha_0; \quad \alpha_2 < \beta_2 = \frac{\beta_1}{k_2} + \alpha_1 \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) < \alpha_1; \\ \alpha_3 < \beta_3 = \frac{\beta_2}{k_3} + \alpha_2 \left(1 - \frac{1}{k_3}\right) < \alpha_2 \dots \quad (17)$$

З огляду на те, що  $k_i < 0$ , а саме  $-2 < k_i < -\frac{1}{2}$ , (див. [1]), остаточно маємо

$$\alpha_0 < \beta_0 < (1 - k_1)\alpha_0 + k_1\alpha_1; \quad \alpha_1 < \beta_1 < (1 - k_2)\alpha_1 + k_2\alpha_2; \\ \alpha_2 < \beta_2 < (1 - k_3)\alpha_2 + k_3\alpha_3 \dots \alpha_{n-2} < \beta_{n-2} < (1 - k_{n-1})\alpha_{n-2} + k_{n-1}\alpha_{n-1} \dots \quad (18)$$

Для того, щоб підключити в систему (17) нерівності, що містять  $\beta_{n-1}$  і  $\beta_n$ , перетворимо ліву частину останньої нерівності з (16)

$$\beta_{n-1} = \beta_n \cdot k_n + \alpha_{n-1}(1 - k_n) \quad (19)$$

З умови  $\alpha_{n-1} < \beta_{n-1} < \alpha_{n-2}$  маємо ( $k_n < 0$ )  $\alpha_{n-1} < \beta_n \cdot k_n + \alpha_{n-1}(1 - k_n) < \alpha_{n-2}$ , або

$$\frac{\alpha_{n-2}}{k_n} + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n}\right) < \beta_n < \alpha_{n-1} \quad (20)$$

$$\text{Аналогічно } \frac{\alpha_{n-3}}{k_{n-1}} + \alpha_{n-2} \left(1 - \frac{1}{k_{n-1}}\right) < \beta_{n-1} < \alpha_{n-2} \quad (21)$$

Система нерівностей (18) + (20) + (21) містить повний набір кутів  $\beta_i$  ( $i = \overline{0;n}$ ) нахилу дотичних. Приведемо отримані обмеження за допомогою (17) до одного невідомого, наприклад  $\beta_0$ , для чого виразимо всі  $\beta_i$ ,  $i = \overline{1;n}$ , через  $\beta_0$ , що у даному випадку виступає як керуючий параметр.

$$\alpha_0 < \beta_0 < (1 - k_1)\alpha_0 + k_1\alpha_1; \quad \alpha_1 < \beta_1 = \frac{\beta_0}{k_1} + \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) < (1 - k_2)\alpha_1 + k_2\alpha_2; \dots \\ \dots \frac{\alpha_{n-2}}{k_n} + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n}\right) < \beta_{n-1} = \frac{\beta_0}{k_1 k_2 \dots k_n} + \frac{\alpha_0}{k_2 k_3 \dots k_n} \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) + \\ + \frac{\alpha_1}{k_3 k_4 \dots k_n} \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) + \dots + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n}\right) < \alpha_{n-1}, \quad (22)$$

або

$$\begin{aligned} & \alpha_0 < \beta_0 < (1-k_1) \alpha_0 + k_1 \alpha_1; \\ & \alpha_0(1-k_1) + k_1 \alpha_1 > \beta_0 > \alpha_0(1-k_1) + k_1 \alpha_1(1-k_2) + k_1 k_2 \alpha_2; \dots \\ & \alpha_0(1-k_1) + k_1 \alpha_1(1-k_2) + \dots + k_1 k_2 \dots k_{n-2} \alpha_{n-2} \lesseqgtr \beta_0 \lesseqgtr \alpha_0(1-k_1) + \\ & + k_1 \alpha_1(1-k_2) + k_1 k_2 \alpha_2(1-k_3) + \dots + k_1 k_2 \dots k_{n-1} \alpha_{n-1}. \end{aligned} \quad (23)$$

В останніх трьох нерівностях знак нерівності в порівнянні з аналогічним з (16) зберігається при  $n$  парному і змінюється на протилежний при  $n$  непарному.

Система (23) є основною при виборі значення  $\beta_0$ . Вона складається, як бачимо, із двох множин знакочередуючих обмежень, оскільки  $k_i < 0$ . Якщо вона має розв'язок, то існує відрізок вибору значення  $\beta_0 = \beta'_0$ , що забезпечує рішення. Після вибору  $\beta'_0$  розраховується  $\beta_i$  з (16) при  $\beta_0 = \beta'_0$ , потім  $\bar{\beta}_{i-0}$  і  $\bar{\beta}_{i+0}$ ,  $i = \overline{1; n-2}$  і розраховуються функції інтерполяції на кожній з ланок згідно з [3] (18).

$$\bar{y} = \left\{ (l_i - \bar{x}) \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1} - \bar{x} \operatorname{tg} \bar{\beta}_i \right\} \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2}. \quad (24)$$

Очевидно, що, як керуючий параметр, замість  $\beta_0$  можна із системи (22) з урахуванням співвідношень (21) вибрати будь-який інший параметр  $\beta_S$ ,  $S \in [1; n-1]$ , розрахувати залежність інших  $\beta_i$ ,  $i = \overline{0; n}$ ,  $i \neq S$ , від  $\beta_S$  і одержати обмеження (23), з якого вибрати шукане  $\beta_S = \beta'_S$ , що забезпечує рішення. Як правило, це зручно, коли ширина смуги (відрізок) вибору  $\beta_S$  мінімальна.

При розв'язанні системи (23) труднощі складаються у виборі значень  $k_i \in [-2; -0,5]$ . Розв'язання варто починати зі значень  $k_i = k = -1$ , що приводить до симетрії кривої щодо середини відрізка  $\bar{x} \in [0; l_i]$ . Якщо при цьому всі нерівності (23) дотримуються, тобто існує відрізок вибору  $\beta_0$ , то в якості моделюючої кривої можна прийняти обведення, що складається з таких симетричних дуг. Якщо якісь з нерівностей не дотримуються, то необхідно змінити значення  $-2 < k_i < -0,5$  в першу чергу тих, котрі беруть участь у всіх некоректних нерівностях. Послідовним підбором коефіцієнтів  $k$  можна домогтися дотримання нерівностей і в такий спосіб одержати розв'язок.

*Висновки:* Приведений спосіб дозволяє використовувати локальні методи неперервної інтерполяції при згущенні ДПК на основі запропонованої інтерполуючої функції з призначенням дотичних в вузлових точках із побудованої смуги кутів суміжності  $\gamma_i$ ,

що забезпечує відсутність осциляції та неперервність перших похідних у точках стикування ділянок кривої, що моделюється, а також глобальне формування дотичних у вузлових точках.

Література:

1. *Верещага В. М., Щербина В. М.* Дискретное моделирование замкнутых кривых / МИМСХ. Мелітополь, 1994. Деп. в ГНТБ України 20.04.94, N 803–Ук94.

2. *Найдиш В. М., Щербина В. М.* Неперервна інтерполяція спіралеподібних ДПК спеціальною функцією // Праці Таврійська державна агротехнічна академія. Мелітополь, 2003. Вип. 4, т. 19. С. 3–6.

3. *Найдиш В. М., Щербина В. М.* Згущення однозначних дискретно представлених кривих // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ, 2003. Вип. 27. С. 22–27.

4. *Найдиш В. М., Щербина В. М.* Формування обводів другого порядку гладкості на основі спеціальної функції // Сучасні проблеми геометричного моделювання: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Львів, 2003. С. 83–85.

5. *Щербина В. М.* Дискретное моделирование неоднозначных кривых // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ, 1997. Вип. 61. С. 187–190.

6. *Щербина В. М.* Особливості визначення початкових умов при згущенні спіралеподібних дискретно поданих кривих // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2002. Вип. 4, т. 15. С. 97–105.

## **СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ В УЗЛАХ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННЫХ КРИВЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ**

Щербина В. М., Мацулевич А. Е., Коломиец С. М.

**Аннотация** – в работе исследуется дискретная интерполяция неоднозначных дискретно представленных кривых произвольной конфигурации в локальной системе координат и глобальное формирование узловых касательных с применением, для проектирования, специальной функции, что гарантирует отсутствие осцилляции обвода.

Исследование заключается в выявлении возможности использования непрерывного геометрического моделирования на основе специальной функции и назначение касательных в узлах исходной ДПК при локальных методах сгущения и глобальное предназначение касательных при методах сгущения

**спиралевидных и замкнутых кривых линий на основе специальной функции.**

**Представленный в работе способ сгущения дискретно представленных кривых (ДПК) позволяет, кроме методов глобальной интерполяции указанных кривых, использовать методику локальной непрерывной интерполяции.**

## **WAY OF CONSTRUCTION OF TANGENTS IN UNITS SPIRAL DISCRETELY SUBMITTED CURVES WITH USE OF SPECIAL FUNCTION**

V. Shcherbina , A. Matsulevych , S. Kolomijets

### *Summary*

**The discrete interpolation of the ambiguous discretely submitted curves of any configuration in local system of coordinates and global formation of central tangents with application, for the designing, special function that guarantees absence oscillation contour is investigated in this work.**

**The study is to identify the possibility of using continuous geometric modeling based on a special function and the purpose of the tangents in the nodes of the original duodenum with local thickening methods and the global purpose of the tangents with thickening spiral-shaped and closed curved lines based on a special function.**

**The way of a condensation of discretely submitted curves (DSC) submitted in work, allows, except for methods of global interpolation of the specified curves, to use a technique of local continuous interpolation.**

**In the thickening of the duodenum on the basis of the method proposed in the work, an interpolating function is used with the assigned tangents at the nodal points and with the constructed band of angles  $\gamma_i$ . This method allows the use of local methods of continuous interpolation with thickening of the duodenum based on the proposed interpolating function, ensures the absence of oscillation and continuity of the first derivatives at the junction points of the simulated curve sections, as well as the global formation of tangents at the nodal points. Our studies have shown that when interpolating spiral DPC with a focus on modeling in CNC systems, it is advisable to use local approximations on each of the links of the accompanying broken line in the local coordinate system  $O\bar{x}\bar{y}$ , where the axis  $O\bar{x}$  coincides with the considered link, and the origin is from the starting point link.**



УДК 514.182

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-288-293

## **АПРОКСИМАЦІЯ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНОЇ КРИВОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСКРЕТНОГО МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ З ВАГОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ**

Пихтєєва І. В., к. т. н.,

Івженко О. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-68-62

**Анотація** – в роботі пропонується застосування вагових коефіцієнтів при апроксимації дискретно представлених кривих методом дискретного методу найменших квадратів (ДМНК), що дозволяє наблизити розв’язок до заданого вузла або віддалити від нього. Отриманий алгоритм дозволяє формувати ДПК на основі будь-якого точкового ряду. При цьому існує можливість покрокового контролю і корекції одержуваного рішення, накладення на нього додаткових умов, гарантується відсутність осциляції.

Запропонована геометрична схема дозволяє призначати узгоджені характеристики в вузлах ДПК. Параметрами формоутворення є вагові коефіцієнти, що задають положення точок згущення. Схема дозволяє призначати в початкових точках дотичні прямі і формувати одномірні обводи з урахуванням цих характеристик.

**Ключові слова** – вагові коефіцієнти, дискретна апроксимація, наближення функції, метод найменших квадратів, відхилення, цільова функція.

*Постановка проблеми.* При розв’язанні задач апроксимації на площині, коли треба, щоб апроксимуюча ДПК якомога ближче примикала до деякого значення  $u_i$  вихідної ДПК вводять вагові коефіцієнти  $\rho_i$  (достатньо велике число) і вирішують МНК - задачу з їх урахуванням. [4]

Складність розв’язання поставленої задачі полягає в виборі значень вагових коефіцієнтів, які забезпечують виконання поставлених вимог. Звичайно, це вирішується [2, 3, 4] шляхом багаторазового розв’язання однієї і тієї ж задачі з послідовною корекцією необхідних значень  $\rho_i$  до тих пір, доки умови наближення не будуть виконані.

Розв'язання цієї задачі за алгоритмами дискретного методу найменших квадратів (ДМНК) має деякі особливості.

*Аналіз останніх досліджень.* Вагові коефіцієнти широко застосовуються у розв'язанні прикладних задач МНК – наближень. [4] Найчастіше розглядається МНК – апроксимація без урахування вагових коефіцієнтів  $\rho_i$ ; тобто для будь-якої точки вихідної ДПК вони дорівнюють одиниці  $\rho_i=1$ . Такий розгляд не враховує пріоритетних якостей окремих значень, тобто передбачається, що вони усі рівноправні. [1, 5, 7] У геодезії [2, 3] розглядаються окремо два випадки:

- рівноточні виміри, коли  $\rho_i=1$ ;
- нерівноточні виміри з вагами  $\rho_i$ ; причому деякі з них можуть дорівнювати одиниці.

*Постановка завдання.* Корекція розв'язку задачі тестової ДПК з застосуванням вагових коефіцієнтів при ДМНК – апроксимації.

*Основна частина.* Розглянемо розв'язання задачі для тестової ДПК на рівномірній сітці (див. таблицю), в якості апроксимуючої ДПК виберемо 2 – параболу і знайдемо її точки за алгоритмом ДМНК без урахування вагових коефіцієнтів, керуючими точками наближення оберемо точки 1, 2, 3, тобто ординати  $\tilde{y}_0, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2$ . При цьому дискретні представлення апроксимуючої функції, як і співвідношення ординат  $\tilde{y}_i$  її точок від керуючих параметрів [1, 5, 6, 7] не змінюються. Із аналізу розв'язку [6] за алгоритмом ДМНК [1] на основі дискретних представлень алгебраїчних поліномів (третій і четвертий рядок таблиці) побачимо, що всі відхилення приблизно однакові, за виключенням точки 1, де  $\tilde{\Delta}_1 = 0,3213$ , приблизно в 2 рази більше ніж інші.

Вирішимо цю задачу ще раз, призначивши  $\rho_1=5$ , а інші  $\rho_i=1$ ,  $i=0; 2; 3; 4; 5$ .

Залежності ординат точок апроксимуючої 2 – параболу від параметрів  $y_1, y_2, y_3$  [6] визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}\bar{y}_0 &= 3\bar{y}_1 - 3\bar{y}_2 + \bar{y}_3, \\ \bar{y}_4 &= \bar{y}_1 - 3\bar{y}_2 + 3\bar{y}_3, \\ \bar{y}_5 &= 3\bar{y}_1 - 8\bar{y}_2 + 6\bar{y}_3.\end{aligned}\tag{1}$$

Цільова функція  $F = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot (y_i - \bar{y}_i)^2 = \min$  має вигляд:

$$F = (y_0 - 3\bar{y}_1 + 3\bar{y}_2 - \bar{y}_3)^2 + 5(y_1 - \bar{y}_1)^2 + (y_2 - \bar{y}_2)^2 + (y_3 - \bar{y}_3)^2 + \\ + (y_4 - \bar{y}_1 + 3\bar{y}_2 - 3\bar{y}_3)^2 + (y_5 - 3\bar{y}_1 + 8\bar{y}_2 - 6\bar{y}_3)^2.$$

Диференціюючи за параметрами  $\bar{y}_1, \bar{y}_2$  і  $\bar{y}_3$ , маємо систему нормальних рівнянь

$$\begin{aligned} 24\bar{y}_1 - 36\bar{y}_2 + 24\bar{y}_3 &= 3y_0 + 5y_1 + y_4 + 3y_5 = 21, \\ -36\bar{y}_1 + 83\bar{y}_2 - 60\bar{y}_3 &= -3y_0 + 5y_2 - 3y_4 - 8y_5 = 3, \\ 24\bar{y}_1 - 60\bar{y}_2 + 47\bar{y}_3 &= y_0 + y_3 + 3y_4 + 6y_5 = 19, \end{aligned} \quad (2)$$

вирішуючи яку знаходимо значення керуючих параметрів

$$\bar{y}_1 = 2,8557, \quad \bar{y}_2 = 4,1483, \quad \bar{y}_3 = 4,2417.$$

Ординати інших точок з (1) дорівнюють

$$\bar{y}_0 = 0,3639, \quad \bar{y}_4 = 3,1359, \quad \bar{y}_5 = 0,8309.$$

Відхилення точок апроксимуючої ДПК від вихідної ДПК подані в останньому (6) рядку таблиці 1.

Значення критерію  $F = 0,28072$

В табл. 1 та на рис. 1 наведено порівняльні показники апроксимуючої 2-параболи без вагових коефіцієнтів і з ваговими коефіцієнтами.

Таблиця 1 – Порівняльні показники апроксимуючої 2-параболи

$i$	0	1	2	3	4	5	$F$	Примітки
$y$	0	3	4	4	3	1	-	-
$\tilde{y}$	0,1768	2,6787	4,0014	4,1429	3,1076	0,8927	0,1785	-
$\tilde{\Delta}$	0,1784	<b>0,3213</b>	0,0014	-0,1429	0,1076	0,1073	0,1786	Відхилення без вагів
$\bar{y}$	0,3639	2,8557	4,1483	4,2417	3,1359	0,8309	-	-
$\bar{\Delta}$	0,3639	<b>0,1443</b>	-0,1483	-0,2417	0,1359	0,1691	0,2807	Відхилення з вагами

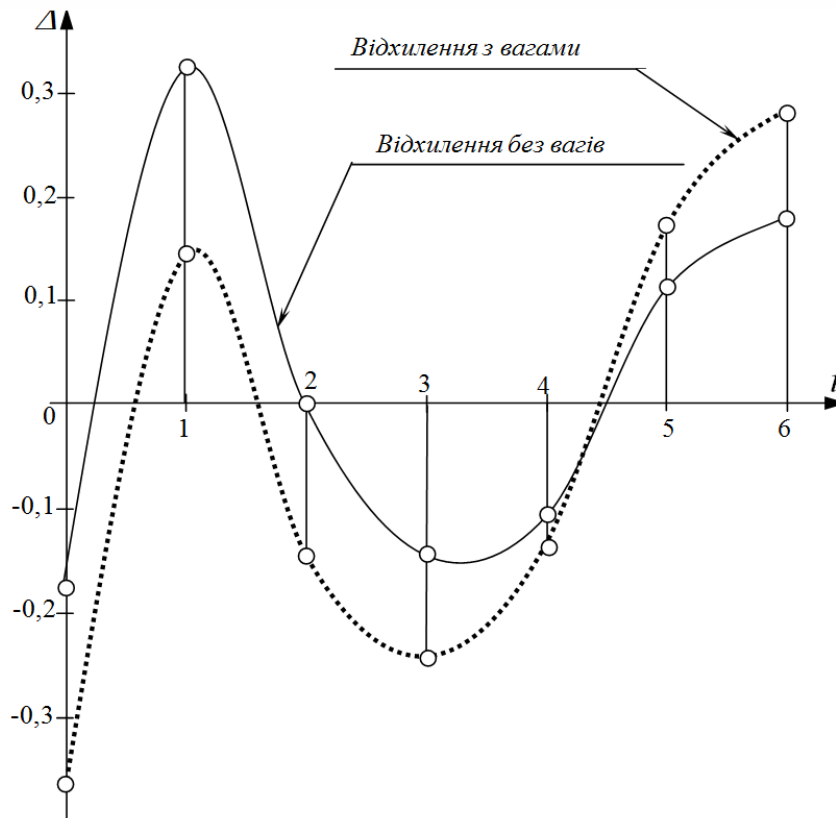


Рис.1. Порівняльні показники апроксимуючої 2-параболи.

Як бачимо, введення вагового коефіцієнту  $\rho_i = 5$  в точці 1 змінило відхилення з  $0,3213$  до  $0,1443$ . При цьому в інших точках показники теж змінилися, як і значення  $F$ , що збільшилось  $F = 0,28072 > 0,17857$ . Причина - наближення т.  $\bar{I}$  розв'язку і вихідної т. 1. Ще більш яскраво виглядатиме це явище, коли значення  $\rho_1$  ще збільшити.

*Висновки.* Важливим важелем корекції розв'язку є застосування вагових коефіцієнтів при ДМНК – апроксимації. Введення коефіцієнтів дозволяє наблизити розв'язок до заданого вузла або віддалити від нього. Значення критерію  $F$  розраховується

за формулою 
$$F = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot (y_i - \bar{y}_i)^2$$
. Чим більше значення коефіцієнта

$\rho_1$ , тим ближче розв'язок до заданої точки. При цьому значення  $F$  у порівнянні з випадком, коли  $\rho_i = 1$ , буде більше.

Література:

1. Найдыш В. М., Пыхтеева И. В. Дискретный метод наименьших квадратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ, 1997. Вип. 62. С. 19–22.

2. *Шилов П. И.* Способ наименьших квадратов. Москва: Геодезиздат, 1941. 48 с.

3. *Чеботарев А. С.* Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. Москва: Геодезиздат, 1958. 606 с.

4. *Успенский А. Б., Федоров В. В.* Вычислительные аспекты метода наименьших квадратов при анализе и планировании регрессионных экспериментов. Москва: МГУ, 1975. 116 с.

5. *Пыхтеева И. В.* Кускова дискретна МНК – апроксимація // Праці Таврійського державного агротехнічного академії. Мелітополь, 2004. Вип. 4, т. 24. С.103–109.

6. *Пыхтеева И. В.* Метод квадратичного программирования в задаче дискретной выпуклой полиномиальной аппроксимации по методу наименьших квадратов // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Мелитополь, 1999. Вып. 4, т. 5 С. 86–89.

7. *Пыхтеева И. В.* Залежність значень елементів матриці нормальних рівнянь від вибору керуючих точок в ДМНК – апроксимації // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків, 2005. Вип. 10. С. 16-21.

## **АППРОКСИМАЦИЯ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННОЙ КРИВОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ С ВЕСОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ**

Пыхтеева И. В., Ивженко А. В.

*Аннотация* – в работе предлагается применение весовых коэффициентов при аппроксимации дискретно представленных кривых методом дискретного метода наименьших квадратов (ДМНК), что позволяет приблизить решение до заданного узла или отдалить от него.

Предложенная геометрическая схема позволяет назначать согласованные характеристики в узлах ДПК. Параметрами формообразования являются весовые коэффициенты, задающие положения точек сгущения. Схема позволяет назначать в исходных точках касательные прямые и формировать одномерные обводы с учётом этих характеристик.

## APPROXIMATION WITH WEIGHT FACTORS BY CRITERION OF A DISCRETE METHOD OF THE LEAST SQUARES (DMLS)

I. Pyhteeva, A. Ivzhenko

### *Summary*

At designing the productions causing use of modern methods of construction of form-building surfaces of the complex geometrical form, there is a necessity for development of alternative methods and algorithms of their reception. At computer realization of tasks of construction of complex surfaces it is extremely necessary to have adequate algorithms of construction of flat contours of sections of projected surfaces.

Discrete computer modeling of surfaces complex geometrical provides forms of applications of original methods of reception of flat contours of surfaces which are projected. One of such methods is the method approximation discretely submitted curves by concrete criterion.

In work application of weight factors is offered at approximation of discretely submitted curves by a method of a discrete method of the least squares (DMLS) that allows to approach the decision up to the set unit or remove from him.

The resulting algorithm allows to form the WPC on the basis of any point series. At the same time, there is the possibility of step-by-step control and correction of the resulting solution, the imposition of additional conditions on it, the absence of oscillations is guaranteed.

The proposed geometric scheme allows you to assign consistent characteristics in the nodes of the WPC. Forming parameters are weighting factors that define the positions of the condensation points. The scheme allows assigning tangent lines at the source points and forming one-dimensional contours taking these characteristics into account.

The formation of flat one-dimensional contours with the provision of control of differential-geometric characteristics makes it possible to simulate surfaces of complex shape according to specified conditions.

УДК 514

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-294-300

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАТРИЧНОГО РІВНЯННЯ ЕЛІПТИЧНОГО ПОВОРОТУ

Мацулевич О. Є., к. т. н.,

Щербина В. М., к. т. н.,

Коломієць С. М., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-68-62

**Анотація** – в роботі розглядається питання геометричного проектування поверхонь гондол літальних апаратів. Поверхні сучасних гондол являють собою еліптичні поверхні обертання, які мають плоскі поперечні перетини вздовж батоксу у вигляді дуг кіл заданих радіусів. Аналіз математичного забезпечення існуючих методів розрахунку поверхонь еліпсоїдів є достатньо громіздкими і мають ускладнення при визначенні на поверхні гондолої положення розрахункових точок та розрахунку диференціальних характеристик в них.

Пропонований матричний спосіб завдання обводу дозволяє представити обвід у параметричній формі, що залежить від кута повороту, опису поверхні гондолої, а також дозволяє керувати формою кривої, яка задана в параметричній формі, і легко робити розрахунок і реалізацію розв'язку з використанням стандартних комп'ютерних програм.

**Ключові слова** – матриця, однорідні координати точки, батокс, центровий ключ, кут повороту, еліптичний обвід.

*Постанова проблеми.* Поверхні сучасних гондол літальних апаратів являють собою плоскі перетини вздовж батоксу, що складається з дуг кіл.

Аналіз математичного забезпечення розрахунку таких поверхонь вказує на громіздкість й ускладнення при визначенні на поверхні гондолої положення розрахункової точки, а також визначення диференціальних характеристик у ній.

*Аналіз останніх досліджень.* При побудові плоских обводів з дуг кіл, застосовувалися аналітичні методи, які були громіздкими і малоефективними при визначенні розрахункової точки на обводі.

Матричний спосіб завдання обводу дозволяє представити обвід у параметричній формі, що залежить від кута повороту. Це дозволяє

використовувати стандартні програми сучасних комп'ютерів.

*Формування цілей статті.* Запропонований у роботі [1] матричний спосіб конструювання еліптичних обводів дозволяє побудувати плоскі обводи з дуг кіл, використовуючи параметричну форму завдання кривої.

*Основна частина.* Розглянемо два варіанти завдання поверхні гондоли:

а) поверхня гондоли розглядається як однопараметрична множина плоских обводів, заданих просторовим центровим ключем. За початкову твірну поверхню гондоли приймаємо лінію верхнього батокса, точки якої описують відповідно до центрального ключа плоскі обводи, розташовані в площинах паралельних площини  $x_2x_3$ .

Рівняння поверхні має вигляд:

$$x = [D] X, \quad (1)$$

де  $[D]$  – матриця, що залежить від параметра  $\varphi$ ;

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ 1 \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \text{координати поточної точки } L \text{ лінії верхнього} \\ \text{батокса, що залежать від параметра } x_1^{сеч} \end{array} \right\}$$

Отже, координати будь-якої точки поверхні гондоли залежать від двох параметрів  $\varphi$  і  $x_1^{сеч}$  відповідають визначені точки на поверхні. Координати перемінної точки просторової лінії на поверхні гондоли можна задати у вигляді функції від одного параметра, наприклад  $\varphi$ , при обраному значенні другого параметра. При зміні параметра  $\varphi$  точка  $A$ , координати якого задаються рівнянням (1), опише плоский обвід, що належить площини  $x_1^{сеч} = const$ . Тому що координати точок поверхні визначаються двома параметрами  $x_1^{сеч}$  і  $\varphi$ , то, диференціюючи по параметрах рівняння (1), можна отримати диференціальні характеристики в будь-якій точці поверхні.

б) якщо за початкову твірну поверхні гондоли прийняти коло  $K$ , що належать площини  $x_2x_3$  (рис. 1), то поверхня може бути отримана як результат добутку миттєвих перетворень руху виробляючої окружності  $K$  на подобу з миттєвим коефіцієнтом  $k$  і центром подоби.

Оскільки між образом і прообразом при перетворенні повинна бути встановлена взаємо-однозначна відповідність, то в даному випадку взаємо-однозначна відповідність між колом  $K$  і замкнутим



обводом  $\tilde{K}$  з  $n$ - ділянок кіл встановлюється в такий спосіб (рис. 1):

1. Вибираємо початок відліку центрального кута кола  $K$ ;
2. Визначаємо центральні кути дуг кіл різних ділянок обводу  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$  від прийнятого початку відліку;
3. Приймаємо, що ділянкам дуг кола  $K$  визначених центральними кутами  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  відповідають ділянки дуг кіл обводу, тобто точці  $A \in K$  на ділянці, виділеній кутом  $\varphi_1$ , відповідає точка  $\tilde{A}$  на дузі першої ділянки і визначена кутом  $\varphi_1^\circ$ .

Координати точки  $\tilde{A}(x_1, x_2, x_3)$ , що відповідає точці  $A(X_1, X_2, X_3)$  заданій кутом  $\varphi_1^\circ$ , визначаємо з матричного рівняння (1),

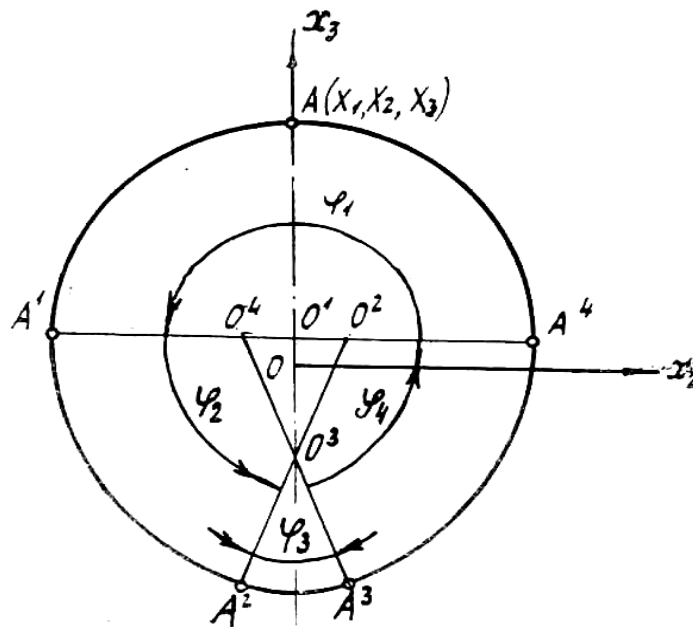


Рис. 1. Відповідність між колом  $K$  і замкнутим обводом  $\tilde{K}$ .

де  $[D]$  – матриця, що залежить від миттєвого коефіцієнту подоби  $k$  і направляючих косинусів площини обводу.

Коефіцієнт подоби  $k$  визначається як відношення радіусів обраної ділянки обводу і початкового кола  $K$ .

Радіусграфічний ключ поверхні гондоли задається чотирма лініями центрів і лінією верхнього батокса, що задані аналітично у вигляді функції від одного параметра  $x_1 = x_1^{сеч}$ .

Рух точки  $M(X_1, X_2)$  на площині вздовж кола  $K$  із центром у точці  $A_0(x_1^0, x_2^0)$  описується матрицею:

$$[D] = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & (1-a_{11}) \cdot x_1^0 - a_{12} \cdot x_2^0 \\ a_{21} & a_{22} & -a_{21}x_1^0 + (1-a_{22}) \cdot x_2^0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де  $a_{11} = a_{22} = \cos \varphi$ ;  $a_{12} = -\sin \varphi$ ;  $a_{21} = \sin \varphi$ .

Рівняння цього кола в матричній формі для площини  $x_1 = x_1^{сеч}$  має вигляд (1).

Для розрахунку координат точок поверхні гондоли був прийнятий перший варіант завдання поверхні. Зроблені розрахунки носових частин внутрішньої і зовнішньої гондол.

Алгоритм знаходження координат точок перетину носової частини зовнішньої мотогондоли: (рис. 1):

- 1) Задаємось значенням параметру  $x_1 = const$  ;
- 2) Відповідно до центрального ключа знаходимо координати центрів  $ПРО^1$ ,  $ПРО^2$ ,  $ПРО^3$ ,  $ПРО^4$ , дуг кіл і точки  $A$  лінії верхнього батокса;
- 3) Визначаємо кути  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ ;
- 4) Визначаємо направляючі косинуси площин перетинів (обводів),
- 5) Плоский обвід розглядаємо як траєкторію руху точки  $A$  за законом радісографічного ключа (рис. 1).

Спочатку повертаємо точку  $A$  на кут  $90^0$  навколо  $ПРО^1$ . Визначаємо координати точки  $A^1$ . Потім повертаємо точку  $A^1$  на кут  $\varphi_2$  навколо  $ПРО^2$ , одержуємо точку  $A^2$ . Повертаємо точку  $A^2$  навколо  $ПРО^3$  на кут  $\varphi_3$ , одержуємо точку  $A^3$ . Повертаємо точку  $A^3$  на кут  $\varphi_4$  навколо точки  $ПРО^4$ , одержуємо точку  $A^4$ . Нарешті, повертаємо точку  $A^4$  на кут  $90^0$  навколо точки  $ПРО^1$  та одержуємо початкову точку  $A$ .

Алгоритм знаходження координат точок перетинів носової частини внутрішньої мотогондоли (рис. 2):

- п. 1)-4) аналогічні алгоритмові зовнішньої гондоли;
- 5) Визначаємо кут  $\alpha$  і  $\delta$ ;
- 6) Плоский обвід розглядаємо як траєкторію руху точки за законом радісографічного ключа (рис. 2).

Спочатку повертаємо точку  $A$  на кут  $\delta$  навколо  $ПРО^1$ . Одержуємо координати точки  $\overline{A}$ . Потім повертаємо точку  $\overline{A}$  на кут  $90^0$  навколо  $ПРО^1$ , одержуємо точку  $\underline{\underline{A}}$ . Повертаємо точку  $\underline{\underline{A}}$  на кут  $\alpha$  навколо точки  $ПРО^1$ , одержуємо точку  $A^1$ . Точки  $A^2$ ,  $A^3$ ,  $A^4$

одержуємо аналогічно описаним вище. Нарешті, повертаємо точку  $A^4$  на кут  $(90^\circ - \delta)$  навколо  $PRO^1$ , одержуємо первісну точку  $A$ . Для одержання координат проміжних точок обводу задаємося кутом  $\varphi$  в інтервалі прийнятої ділянки.

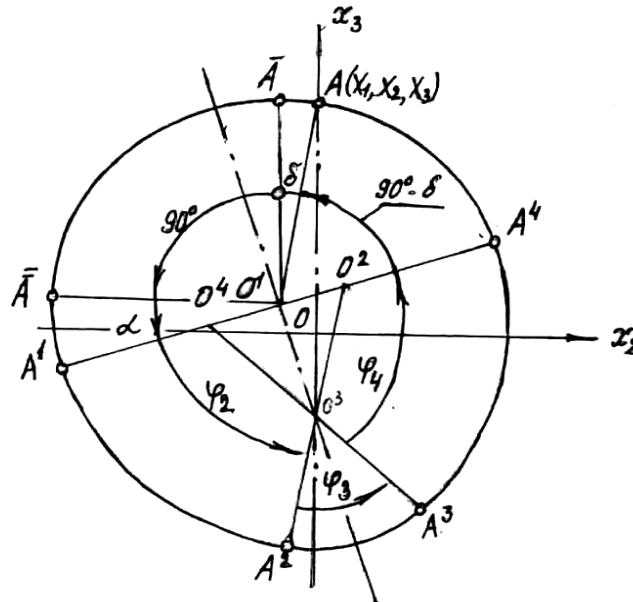


Рис. 2. Координати точок перетинів носової частини внутрішньої мотогондоли.

*Висновки.* Пропонований матричний спосіб опису поверхні гондоли літального апарату дозволяє керувати формою кривої, заданої в параметричній формі і легко робити розрахунок і реалізацію розв'язку з використанням стандартних програм комп'ютера, а також розв'язувати зворотну задачу визначення центрових ключів плоских обводів за заданими точками.

#### Література:

1. *Сергеев Л. В.* Матричное уравнение эллиптического поворота // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків: ХДУХТ, 2005. Вип. 13. С. 44-48.

2. *Котов И. И., Сергеев Л. В.* Матричный способ задания определителя кинематических поверхностей // Графика и прикладная геометрия поверхностей. Москва: МАИ, 1971. Вып. 229. С. 54-59

3. *Верещага В. М.* Формирование производных в узлах плоской дискретно представленной кривой / МИМСХ. Мелитополь, 1994. Деп. в ГНТБ Украины 22.02.94, N 337-Ук 94.

4. *Найдыш А. В., Щербина В. М.* Моделирование дискретно представленных кривых в полярной системе координат // Сучасні проблеми геометричного моделювання. Харків: ХІПБ МВС України, 1998. Ч. 1. С. 106-107.

5. *Верещага В. М., Щербина В. М.* Дискретное моделирование замкнутых кривых / МИМСХ. Мелитополь, 1994. Деп. в ГНТБ Украины 20.04.94, N 803–Ук94.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОВОРОТА

Мацулевич А. Е., Щербина В. М., Коломиец С. М.

*Аннотация* – в работе рассматривается вопрос геометрического проектирования поверхностей гондол летательных аппаратов. Поверхности современных гондол представляют собой эллиптические поверхности вращения, которые имеют плоские поперечные сечения вдоль батоксы в виде дуг окружностей заданных радиусов. Существующие методы расчета поверхностей эллипсоидов достаточно громоздки и имеют осложнения при определении на поверхности гондолы положения расчетных точек и расчета дифференциальных характеристик в них.

Авторами в работе исследуется частный случай расчета плоских обводов с дуг окружностей пересечения линии верхнего батоксы гондолы самолета на базе матричного уравнения эллиптического поворота.

Предлагаемый матричный способ описания поверхности гондолы позволяет управлять формой кривой, заданной в параметрической форме, и легко производить расчет и реализацию развязку с использованием стандартных компьютерных программ.

## GEOMETRICAL MODELLING OF COMPLEX THREE-DIMENSIONAL SURFACES WITH APPLICATION OF THE MATRIX EQUATION OF ELLIPTIC TURN

A. Matsulevych , V. Shcherbina , S. Kolomijets

### *Summary*

In work the question of geometrical designing of surfaces of gondolas of flying devices is considered. Surfaces of modern gondolas represent elliptic surfaces of rotation which have flat cross-section sections lengthways батоксы as arches of circles of the set radiuses. Existing methods of calculation of surfaces ellipsoids bulky enough also have complications at definition on a surface of a gondola of position of settlement points and calculation of differential characteristics in them.

**The authors consider two options for constructing the surface of a nacelle: this nacelle surface as a one-parameter set of flat contours defined by a spatial center key, where the initial forming surface of the gondola accepts a line of upper buttocks, the points of which are described in planes. In the second case, if the initial generatrix of the surface of the nacelle is taken as a circle belonging to the plane, then the surface can be obtained as a result of the product of instantaneous transformations of the motion of the generating circle into a similarity with an instantaneous coefficient and the center of similarity. On the basis of this, a special case of calculating flat contours from arcs of circles crossing the line of the upper buttocks of the aircraft nacelle on the basis of the matrix equation of elliptic rotation is investigated.**

**The offered matrix way of the description of a surface of a gondola allows to operate the form of the curve set in the parametrical form, and it is easy to settle an invoice and realization an outcome with use of standard computer programs.**

## Зміст

стор.

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

1. *Самойчук К. О., Ялчак В. Ф., В'юнник О. В.* Вплив відстані між соплами форсунок на характеристики протитечійно-струминного змішувача напоїв 3
2. *Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Циб В. Г., Антонова Г. В.* Використання імпульсного гомогенізатора в молочній промисловості 12
3. *Петриченко С. В., Олексієнко В. О.* Визначення тривалості підсушування ковбасних виробів 18
4. *Погребняк А. В., Пархоменко Р. О.* Дослідження конструкції водорізного обладнання та його вдосконалення шляхом модернізації ущільнювача плунжера гідромультіплікатора двосторонньої дії 25
5. *Верхоланцева В. О.* Розробка відцентрово-роторного подрібнювача для подрібнення пшениці на комбіорма 35
6. *Дідур В.В, Верещага А.Л.* Методика вимірювання зусилля у шнековому пресі при віджимі олії з рослинної сировини 41
7. *Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г., Бондар Д. В.* Плівковий охолоджувач напоїв 48
8. *Бунецький В. А., Бондаренко М. В.* Создание ефективного пеллетного производства на основе сушильного комплекса СК-3 55
9. *Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Засядько А. І.* Поліпшення вихідних характеристик планетарних гідромашин 68
10. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Кюрчева Л. М., Стручаєв М. І.* Обґрунтування кінематичних параметрів міжопераційного віброхвильового транспортування сої за її інфрачервоного сушіння 86
11. *Стручаєв М. І., Олексієнко В. О., Петриченко С. В., Верхоланцева В. О.* Каскадний морозильний пристрій 94
12. *Гавриленко О. М.* Проблеми синхронізації двигунів у гідравлічному агрегаті 103
13. *Бойко В. С., Загорко Н. П., Тарасенко В. Г.* Експериментальне дослідження течії в'язко-пластичної рідини по каналу формувача при об'ємному друці 110
14. *Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Колодій О. С., Лебідь М. Р.* Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу 117
15. *Тарасенко В. Г.* Вдосконалення обладнання для заморожування харчових продуктів 130

*ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ*

16. *Прісс О. П., Сердюк М. Є., Сухаренко О. І., Коляденко В. В.* Зберігання плодів овочів з використанням екзогенних антиоксидантів 137
17. *Калина В. С., Вечера Г. М.* Аналіз існуючих технологій виробництва картопляних чіпсів 146
18. *Міснюк Д. О., Андрущенко Б. О., Угрімова Д. А.* Вплив екструзійної обробки на якість ферментованого житнього солоду 153
19. *Мельник О. Ю., Шинкаренко К. О.* Використання модифікованих крохмалів у виробництві сухих сумішей киселю функціонального призначення 160
20. *Цихановська І. В., Євлаш В. В., Лазарева Т. А., Шингісов А. У.* Дослідження структурно-механічних показників та піноутворення зефірних мас з різними структуроутворювачами при введенні в рецептуру харчової добавки “Магнетофуд” 168
21. *Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю.* Визначення та опис технічної енергетичної системи з використання відновлюваних ресурсів плодів насаджень 192

*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

22. *Диордиев В. Т., Кашкарев А. А., Диордиев А. А.* Разработка интегрированных математических моделей описания динамических объектов электроэнергетики 200
23. *Лисенко О. В.* Постановка задачі оптимізації для комбінованої енергосистеми 208
24. *Назаренко І. П., Лобода О. І., Діденко О. В., Дубініна С. В.* Дослідження процесу випарювання води з касторової олії в електричному полі 216
25. *Сілі І. І.* Розрахунок параметрів синхронізуючого генератора на лавинно-пролітних діодах 222
26. *Курашкін С. Ф., Попова І. О.* Пристрій захисту групи асинхронних електродвигунів 229

*КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ*

27. *Івженко О. В., Шрамко О. В.* Дискретне інтегрування ДПК довільної конфігурації на основі вирахування сум 237
28. *Дьоміна Н. А., Назарова О. П.* Моделювання та оптимізація раціону кормів для свинарства 248
29. *Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Івженко О. В., Найдих А. В.* Технологія моделювання поверхонь складних технічних виробів за заданими умовами 257

30. *Мацулевич О. Є., Зінов'єва О. Г.* Розв'язання задач аналізу тренд-сезонних часових рядів 264
31. *Пихтєєва І. В., Івженко О. В., Зінов'єва О. Г.* Розв'язання задач економіко-математичного моделювання на основі дискретного геометричного моделювання виробничої функції 271
32. *Щербина В. М., Мацулевич О. Є., Коломієць С. М.* Спосіб побудови дотичних у вузлах спиралеподібних дискретно представлених кривих із використанням спеціальної функції 278
33. *Пихтєєва І. В., Івженко О. В.* Апроксимація дискретно представленої кривої з використанням дискретного методу найменших квадратів з ваговими коефіцієнтами 288
34. *Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Коломієць С. М.* Геометричне моделювання складних тривимірних поверхонь із застосуванням матричного рівняння еліптичного повороту 294





## МЕЛІТОПОЛЬСЬКА ПИВОВАРНЯ «ДІМІОРС»



Мелітопольська пивоварня «Діміорс» пропонує сорта непастеризованого пива «Віденське», «Розливне», «Жигулівське», «Мюнхенське», «Мюнхенське нефільтроване», «Південна Баварія світле» та «Південна Баварія темне», «VockBier». Також пивоварня пропонує споживачам напої безалкогольні середньогазовані «Смак лимона», «Смак тархуна».

Наше пиво виготовлено зі світлого ячменного солоду, рисової крупи, цукру, хмелю з використанням підготовленої артезіанської води, має м'який солодовий смак та приємну гіркоту хмелю.

Пиво неодноразово займало призові місця та було нагороджено золотими та срібними медалями за високу якість напою на щорічному



міжнародному конкурсі «Свято пива», який проходить у м. Київ.

Напої безалкогольні виготовлені на натуральних компонентах без додавання консервантів та підсолоджувачів.



**НАДМІРНЕ СПОЖИВАННЯ  
АЛКОГОЛЮ ШКІДЛИВЕ ДЛЯ  
ВАШОГО ЗДОРОВ'Я**



**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ПІДПРИЄМСТВО  
КТ «ЖЕЛЄВ С.С. І КОМПАНІЯ  
«МЕЛІТОПОЛЬСЬКОГО ЕЛЕВАТОРА»»**

Сільськогосподарське підприємство КТ «Желєв С.С. і компанія «Мелітопольського елеватора»» займається зберіганням та вирощуванням зернових та олійних культур, виробництвом борошна пшеничного та житнього, паливних брикетів та соняшникової олії.



Адреса: вул. Гетьмана Сагайдачного, 53,  
м. Мелітополь  
тел.: +38(067)612-08-02  
+38(067)611-11-27

Наукове фахове видання  
Технічні науки

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету  
Випуск 19, том 2

Свідоцтво про державну реєстрацію – Міністерство юстиції  
13503-2387 ПР від 03.12.2007 р.

Відповідальний за випуск – Самойчук К.О.

Коректори:

Редакційна група Наукової бібліотеки ТДАТУ імені Дмитра Моторного,  
Лівик Н.В.

---

Підписано до друку 02.03.2019 р. друк Rizo.  
Друкарня ТДАТУ імені Дмитра Моторного.  
18,0 умов. друк. арк. тираж 100 прим.

73312 ПП Верескун.  
Запорізька обл., м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 10  
тел. (06192) 6-88-38