

Міністерство освіти і науки України



ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 19, том 3

Наукове фахове видання

Технічні науки

Мелітополь – 2019 р.

УДК 631.3**Т 13**

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 3. 338 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ ім. Д. Моторного,
Протокол №2 від 24.09.2019 року

У збірнику наукових праць опубліковано матеріали за результатами досліджень у галузі галузевого машинобудування, електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, харчових технологій, а також комп'ютерних 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: Crossref, Google Scholar, eLibrary, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія праць ТДАТУ ім. Д. 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

Кашкарьов А. О. – к.т.н., доц. (Україна)

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

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Jose Italo Cortez - PhD (Mexico)

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)

Гнатюшенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейніченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Карасев О. Г. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

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

Відповідальний за випуск – д.т.н., проф. Леженкін О. М.

Адреса редакції: ТДАТУ ім. Д. Моторного

пр. Б. Хмельницького 18,

м. Мелітополь Запорізька обл.

72312 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)

Ляковська 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)

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 631.331.001.55

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-3-13

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНОГО
ВИСІВНОГО АПАРАТУ

Кюрчев В. М., д. т. н.,

Сербій Є. К., к. т. н.*

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – метою досліджень є встановлення експериментальним шляхом впливу швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі механічним щілинним висівним апаратом точного висіву.

В статті наведено методику лабораторних досліджень механічного щілинного висівного апарату точного висіву і обробітку експериментальних даних, а також висвітлено результати експериментальних досліджень.

Лабораторну установку виготовлено на базі механічного висівного апарату точного висіву сівалки ССТ-12. Внутрішній діаметр висівного робочого органу складає 190 мм, ширина висівної камери – 50 мм.

В якості висівного матеріалу вибрано насіння сої сорту «Алмаз», розмірні характеристики якого штучно змінювали просіюванням на решетах зі збереженням середнього значення діаметру 5,0 мм та зміненням середньоквадратичного відхилення від 0,1 до 0,4 мм. Привід робочого органу – від електричного двигуна, діапазон регулювання швидкостей – від 0 до 60 об/хв. Для визначення часу між подачею суміжних насінин t_i використано відеозапис з частотою 120 кадрів/с, такими чином точність реєстрації часу $\pm 0,0083$ с.

В результаті проведення лабораторних досліджень отримано залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки b , швидкості обертання робочого органу n та коефіцієнту варіації розмірів насінин, v_c . Обґрунтовано раціональні параметри щілинного механічного висівного апарату точного висіву при $v_c = 3\%$: $b = 1,43$ та $n = 12,8$ об/хв за яких

© Кюрчев В. М., Сербій Є. К.

* Науковий консультант – д. т. н., проф. Кюрчев В. М.

рівномірність подачі насіння становить $v = 8,2\%$.

Ключові слова – насіння, рівномірність подачі, коефіцієнт варіації, механічний щільний висівний апарат, точний висів.

Постановка проблеми. Світові лідери сільськогосподарського машинобудування (ЕЛЬВОРТИ, ЛКМЗ, JOHNDEERE, CLAAS) безперервно вдосконалюють машини і обладнання для аграрного виробництва, змагаючись між собою [1, 2] і ставлячи світові рекорди [3] з метою посилити перші позиції на ринку.

В частині сівалок точного висіву розвиток висівних апаратів відбувається в напрямках підвищення рівномірності та швидкості подачі насіння у борозну, зменшення їх травмування. Так, одне з найкращих технічних рішень з висіву – пневматичний висівний апарат сівалки Tempo (Vaderstad) забезпечує висів з рівномірністю, яка оцінюється коефіцієнтом варіації між насінинами до 25% та швидкістю подачі до 20 насінин у секунду [3]. Зворотною стороною вдосконалення висівних апаратів є:

– суттєве ускладнення конструкції (конструкція пневматичного висівного апарату Tempo (Vaderstad), що розроблена Гелт Гілстрінгом, захищена 52 патентами [4]);

– збільшення енергоємності і металоємності (в середньому витрати пального пневматичними сівалками на 25% більше ніж механічними [5]);

– збільшення кількості швидкозношуваних деталей та вузлів (середній ресурс швидкозношуваних висівних дисків пневматичних сівалок становить до 50 га, проти відсутності швидкозношуваних деталей у механічних [6]).

Задачею висівного апарату є поодинокі, через рівні проміжки часу дозування насіння на дно борозни. З метою спрощення конструкції та зменшення енергоємності запропоновано [7, 8] механічний щільний висівний апарат точного висіву насіння формою близькою до шароподібного: дражоване насіння, соя, горох, буряк.

Запропонований висівний апарат складається з наступних елементів: корпус 1, висівний робочий орган 2 внутрішнього заповнення (складається з двохспіввісних циліндричних ободи однакового діаметру, нерухомо з'єднаних між собою перегородками 4, простір між обідами утворює щілину 3), виштовхувач 5.

При обертанні висівного робочого органу 2 внутрішнього заповнення, у зоні з насінням в паз 3 западають насінини 6. При подальшому обертанні висівного робочого органу 2 насінини 6 у пази 3 виводяться з зони з насінням та подаються до виштовхувача 5, який їх виштовхує на дно борозни (рис. 1).

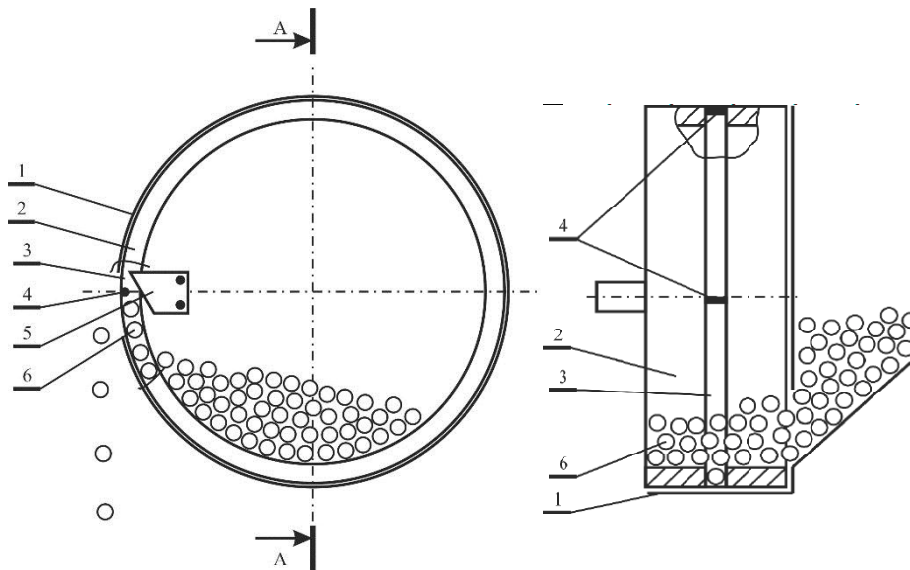


Рис. 1. Схема щілинного механічного висівного апарату точного висіву

Відповідно з теоретичними дослідженнями запропонований висівний апарат з шириною щілини $H = 9,4$ мм має забезпечувати рівномірність подачі насіння близького до шароподібного (середній діаметр $D = 5,0$ мм, середньоквадратичне відхилення $0,15$ мм та коефіцієнт варіації $\nu_c = 3,0\%$) на рівні $\nu_T = 5,0\%$ [9]. Ці теоретичні дослідження стосуються визначення якісних показників за ідеальних умов – при 100% заповненні щілини насінням. В реальних умовах, в залежності від швидкості обертання висівного робочого органу, ширини пазу, фізико-механічних властивостей насіння, можуть бути ділянки не заповнені насінням.

Отже, експериментальні дослідження запропонованого щілинного механічного висівного апарату точного висіву з метою визначення впливу швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі є актуальним напрямком досліджень.

Формування цілей статті (постановка завдання). Встановити вплив швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі механічним щілинним висівним апаратом точного висіву.

Основна частина. Експериментальні дослідження проведено в лабораторних умовах. Лабораторну установку виготовлено на базі механічного висівного апарату точного висіву сівалки ССТ-12. Внутрішній діаметр висівного робочого органу складає 190 мм, ширина висівної камери – 50 мм.

В якості висівного матеріалу вибрано насіння сої сорту «Алмаз», розмірні характеристики якого штучно змінювали просіюванням на решетах зі збереженням середнього значення

діаметру 5,0 мм та зміненням середньоквадратичного відхилення від 0,1 до 0,4 мм.

Привід робочого органу – від електричного двигуна, діапазон регулювання швидкостей – від 0 до 60 об/хв. Для визначення часу між подачею суміжних насінин t_i використано відеозапис з частотою 120 кадрів/с, такими чином точність реєстрації часу $\pm 0,0083$ с.



Рис. 2. Лабораторна установка щілинного механічного висівного апарату точного висіву

Цільовою функцією, яка характеризує рівномірність висіву ν_t , є коефіцієнт варіації [10] часу t_i між подачами насінин з висівного апарату:

$$\nu_t = \frac{\sigma}{T}, \quad (1)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення часу t_i подачі насінин [10];

T – середнє математичне часу t_i подачі насінин [10].

З попередніх досліджень [11] встановлено найбільш впливові керуючі фактори на цільову функцію ν_t :

- відносна ширина канавки $b = H/D$;
- швидкість обертання робочого органу n , об/хв;
- коефіцієнт варіації розмірів насінини, $\nu_c\%$.

Такий фактор, як коефіцієнт тертя насіння по робочому органу не прийняли як керуючий, оскільки для висівного матеріалу його прагнуть зробити найменшим, виконуючи передпосівне шліфування насіння або додаючи графітовий порошок. Для більшості видів насіння при передпосівній вологості до 14% варіювання коефіцієнту тертя по сталі, що змінюється в межах від 0,2 до 0,3 [12], не робить істотного впливу на процес.

Нелінійний вплив керуючих факторів на цільову функцію, обумовлює доцільність варіювання факторів на 3 рівнях. Вибір рівнів

факторів та інтервалів варіювання виконано на підставі теоретичних обґрунтувань, апріорної інформації, а також у результаті попередніх експериментальних досліджень (табл. 1). Для спрощення проведення експерименту використано неповнофакторний ортогональний некомпозиційний трифакторний, майже рототабельний, трирівневий план Бокса-Бенкіна [13] з 13 дослідями. Для збільшення точності визначення відгуку та для визначення відсутності впливу мінливості неконтрольованих та некерованих факторів, кожен дослід виконано у 5-кратній повторності.

Для виключення неоднорідностей дискретного та безперервного типу, порядок проведення дослідів рандомизувався [13].

Таблиця 1 – Межі варіювання факторів повного факторного експерименту типу 3^k

Показники	Фактори		
	b	n , об/хв	v_c , %
Верхній рівень	1,7	10	8
Нульовий рівень	1,5	15	5
Нижній рівень	1,3	20	2

Обробіток експериментальних даних по загальноприйнятій методиці [14] зводиться до отримання функціональної залежності рівномірності подачі насіння від трьох факторів ($v = v(b, n, v_c)$), перевірки однорідності дисперсій, адекватності отриманої функціональної залежності та пошуку її оптимуму. Обробіток експериментальних даних виконано в середовищі комп'ютерної математики Maple.

Обробітком експериментальних даних в середовищі комп'ютерної математики Maple отримано функціональну залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки b , швидкості обертання робочого органу коефіцієнту варіації розмірів насінини, v_c (рис. 3):

$$v_t = 423.7 + 193.8 \cdot b^2 + 0.34 \cdot v_c^2 + 0.04 \cdot n^2 - 563,6 \cdot b - 6.6 \cdot v_c - 0.7 \cdot n + 4,04 \cdot b \cdot v_c - 0.26 \cdot b \cdot n + 0.03 \cdot n \cdot v_c \quad (2)$$

Порівняння розрахункового $G_{\text{НАБЛ}} = 0,15$ та критичного критеріїв Кохрена $G_{0,05;4;13} = 0,27$ дозволяє прийняти гіпотезу про однорідність дисперсій, а, отже, відсутність впливу мінливості неконтрольованих та некерованих факторів.

Порівняння розрахункового $F_{\text{РОЗР}} = 4,9$ та табличного $F_T = 19,3$ критеріїв Фішера дозволяє прийняти гіпотезу про адекватність отриманої математичної моделі (2) з 95% ймовірністю.

З аналізу експериментальних даних та отриманої залежності (2), (рис. 3) встановлено:

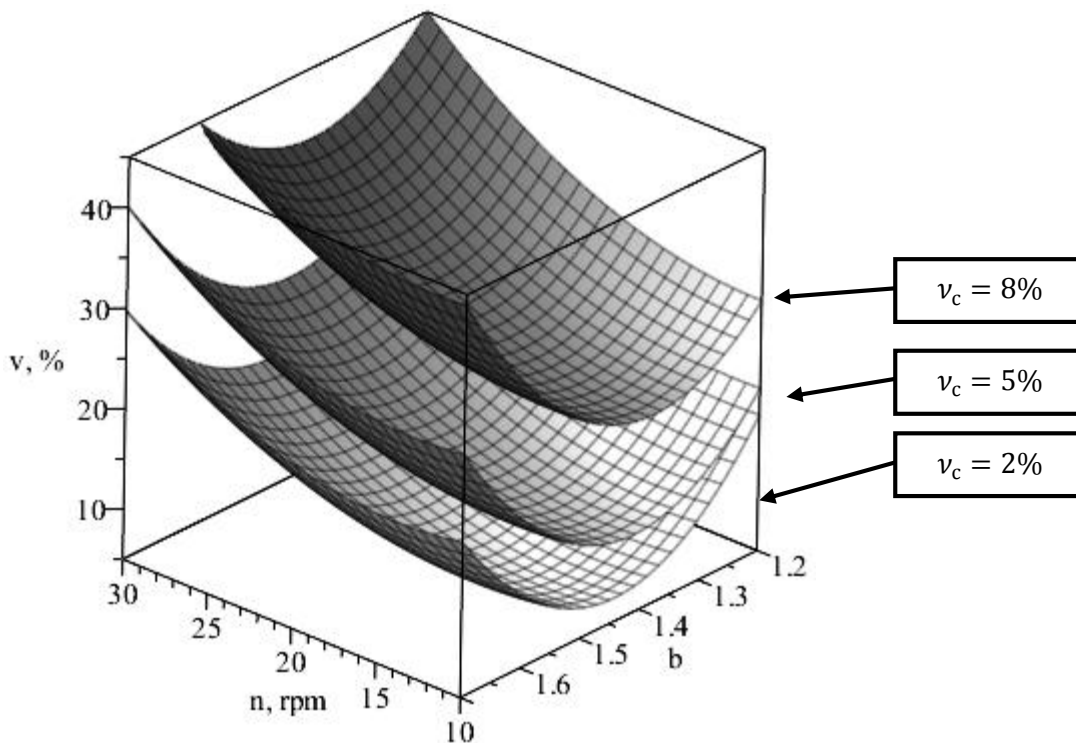


Рис. 3. Залежність рівномірності подачі насіння з висівного апарату від відносної ширини канавки b , швидкості обертання робочого органу та коефіцієнту варіації розмірів насіння, v_c

– рівномірність подачі насіння є строго монотонною та зростаючою функцією коефіцієнту варіації розмірів насіння, v_c (рис. 4). З погляду на те, що якісна робота висівного апарату потребує найменшого значення коефіцієнту варіації розмірів насіння, який для більшості насіння сільськогосподарських культур знаходиться в межах до 3% [15, 16], раціональним для запропонованого висівного апарату буде обмеження коефіцієнту варіації розмірів насіння $v_c = 3\%$;

– при $v_c = 3\%$, $b = 1,5$ та зміні швидкості обертання робочого органу n від 10 до 13 об/хв рівномірність подачі насіння зменшується з 9,4 до 9,1%, а потім монотонно збільшується (рис. 5);

– рівномірність подачі насіння при $v_c = 3\%$ немонотонна випукла функція швидкості обертання робочого органу n (рис. 6). Екстремальні значення набуває при $b = 1,4 \dots 1,5$, а на границях варіювання b збільшується на 10...15%.

При $v_c = 3\%$ залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки b та швидкості обертання робочого органу n буде мати вигляд:

$$v(v_c = 3\%) = 193,8 \cdot b^2 + 0,039 \cdot n^2 - 0,264 \cdot b \cdot n - 551,5 \cdot b - 0,62 \cdot n + 406,9 \quad (3)$$

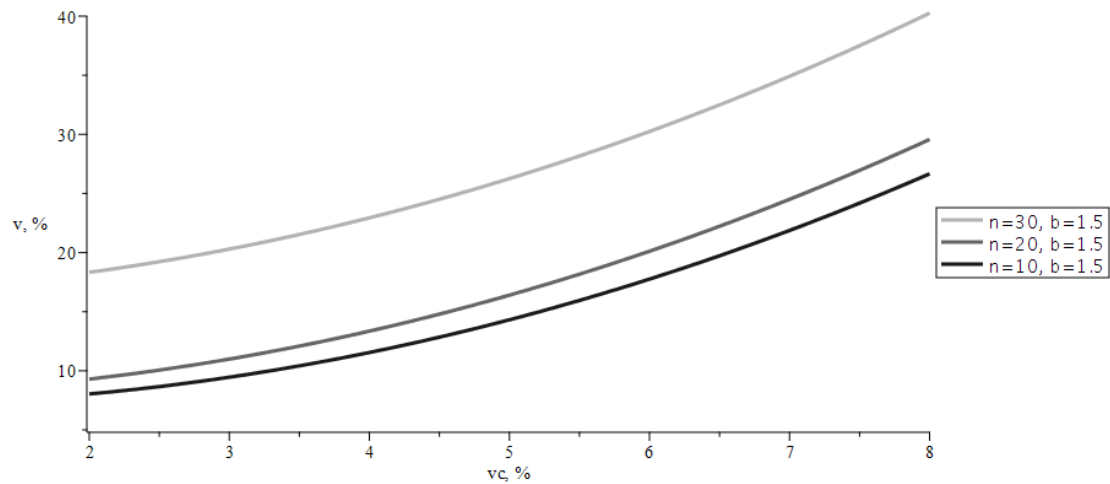


Рис. 4. Залежність рівномірності подачі насіння від коефіцієнту варіації розмірів насінини v_c та швидкості обертання робочого органу n ($b = 1,5$)

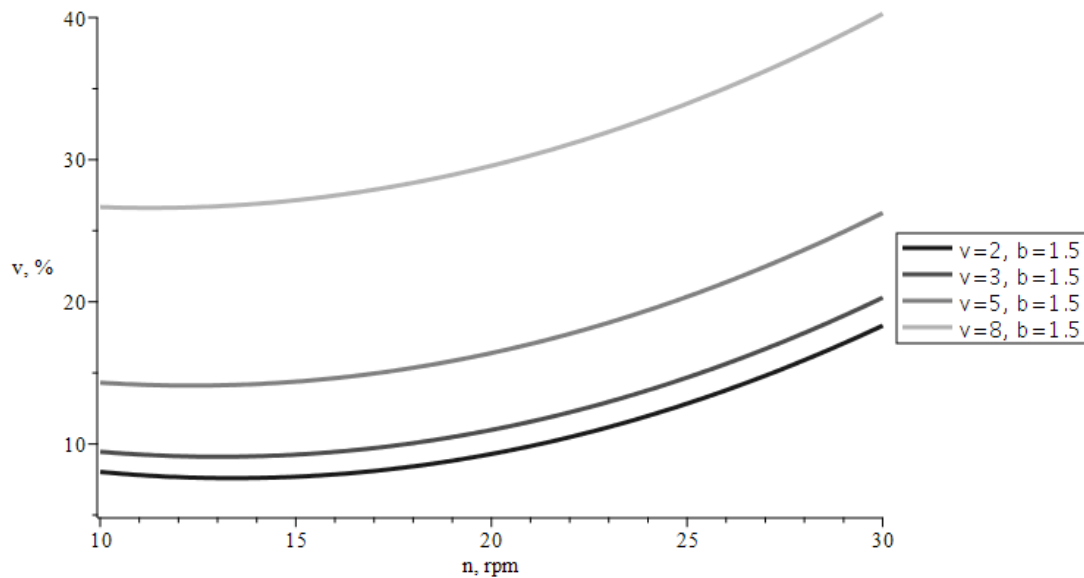


Рис. 5. Залежність рівномірності подачі насіння від швидкості обертання робочого органу n та коефіцієнту варіації розмірів насінини v_c ($b = 1,5$)

Раціональні параметри запропонованого щілинного висівного апарату точного висіву визначимо як екстремум рівняння (3), прирівнявши нулю частинні похідні по b та n :

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial b} = 387.6 \cdot b - 0,264 \cdot n - 551.5 = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial n} = -0,264 \cdot b + 0.078 \cdot n - 0.617 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

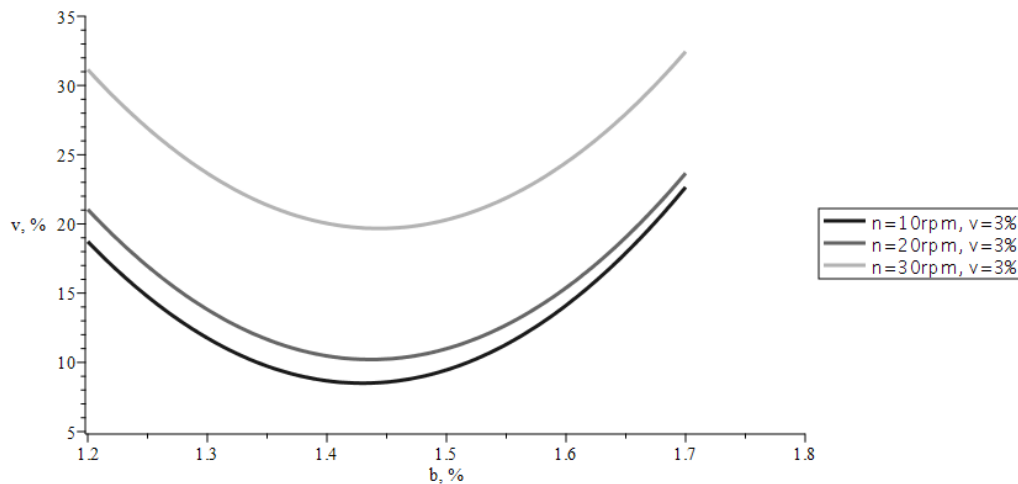


Рис. 6. Залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки b та швидкості обертання робочого органу n ($v_c = 3\%$)

Рішенням системи рівнянь (4) є $b = 1,43$ та $n = 12,8$ об/хв. За цих значень досягається рівномірність подачі насіння з висівного апарату $v = 8,2\%$. Отримана експериментальним шляхом рівномірність висіву $v = 8,2\%$ відрізняється від теоретичної $v_T = 12\%$ оскільки в натурному експерименті були присутні такі явища як неповне заповнення пазу, прослизання насіння в пазу, які не враховано в теоретичних дослідженнях і негативно впливають на якість висіву. З огляду на це, можна припустити про можливі резерви вдосконалення запропонованої конструкції щілинного механічного висівного апарату точного висіву.

Висновки:

– проведено лабораторні дослідження щілинного механічного висівного апарату точного висіву за результатами яких визначено залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки b , швидкості обертання робочого органу та коефіцієнту варіації розмірів насінин, v_c ;

– раціональними параметрами щілинного механічного висівного апарату точного висіву є при $v_c = 3\%$ є: $b = 1,43$ та $n = 12,8$ об/хв за яких рівномірність подачі насіння становить $v = 8,2\%$.

Література:

1. Битва Агротитанів. VI виставка-демонстрація техніки в польових умовах. URL: <http://agrotitans.com.ua/2018/sep/ukr> (дата звернення: 22.08.2019).

2. Tractorpulling: zmaganiazawodowców. 01 czerwca 2016. URL: <https://www.topagrar.pl/filmy/tractor-pulling-zmagania-zawodowcow/> (дата звернення: 22.08.2019).

3. Мировой рекорд Tempo. URL: <https://www.vaderstad.com/ru/seyalki-propashnie/seyalki-tempo/mirovoi-rekord-tempo/> (дата звернення: 22.08.2019).
4. Rapid 300С и Tempo F8 от Vaderstad. URL: <https://agroexpert.md/rus/novosti-kompaniy/rapid-300s-i-tempo-f8-ot-vaderstad-vpered-i-te-kto-bystree> (дата звернення: 22.08.2019).
5. Техника для посева, внесения удобрений и защиты растений. Информационный бюллетень испытаний 2012 года. Покров, 2013. 20 с.
6. Обеспечение работоспособности деталей высевających аппаратов сеялок для пропашных культур / О. Банний и др. // Пропозиция. 2017. № 2. С. 50-54.
7. Висівний апарат: пат. 129214 Україна: МПК А01С 7/04 (2006.01). № u201804208; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.
8. Висівний апарат: пат. 128625 Україна: МПК А01С 7/04 (2006.01). № u201804237; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18.
9. *Сербій Є. К., Кюрчев В. М.* Теоретичні дослідження рівномірності подачі насіння щільним висівним апаратом // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2018. Вип. 8 (107). С. 25-33.
10. Теория вероятностей / А. В. Печинкин и др. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 456 с.
11. *Сербій Є. К.* Результати лабораторних досліджень висівного апарату точного висіву // Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (24-25 травня 2017 р., м. Умань). Умань, 2017. С. 43-44.
12. *Ткаченко Н. М., Ткаченко Ф. А.* Семена овощных и бахчевых культур. Москва: Колос, 1977. 192 с.
13. *Спирidonov А. А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. Москва: Машиностроение, 1981. 60 с.
14. *Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Наука, 1976. 279 с.
15. *Кириченко Р. В.* Визначення основних механіко-технологічних властивостей насіння ріпаку, люцерни та моркви // Вісник ХНТУСГ. Сер. Технічні науки. 2011. Вип. 107, т. 1. С. 380-387.
16. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насінневих сумішей на прикладі кукурудзи / М. Я. Кирпа та ін. // Насінництво. 2013. С. 45-50.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Кюрчев В. Н., Сербий Е. К.

Аннотация – для сеялок точного высева развитие высевающих аппаратов происходит в направлении повышения равномерности и скорости подачи семян в борозду. Однако усовершенствование высевных аппаратов приводит к:

- существенному усложнению конструкций;
- увеличение энергоемкости и металлоемкости;
- увеличение количества быстроизнашиваемых деталей.

Целью исследований является установление экспериментальным путем влияния скорости вращения высевающего рабочего органа, ширины щели и физико-механических свойств семян на равномерность его подачи механическим щелевым высевающим аппаратом точного высева.

В статье приведена методика лабораторных исследований механического щелевого высевающего аппарата точного высева и обработки экспериментальных данных, а также освещены результаты экспериментальных исследований.

Лабораторную установку изготовлено на базе механического высевающего аппарата точного высева сеялки ССТ-12. Внутренний диаметр посевного рабочего органа составляет 190 мм, ширина семенной камеры – 50 мм.

В качестве посевного материала выбрано семян сои сорта «Алмаз», размерные характеристики которого искусственно меняли просеиванием на решетках с сохранением среднего значения диаметра 5,0 мм и изменением среднего отклонения от 0,1 до 0,4 мм. Привод рабочего органа – от электрического двигателя, диапазон регулирования скоростей – от 0 до 60 об/мин. Для определения времени между подачей смежных семян t_i использовано видеозапись с частотой 120 кадров/с, такими образом точность регистрации времени $\pm 0,0083$ с.

В результате проведения лабораторных исследований получена зависимость равномерности подачи семян от относительной ширины канавки b , скорости вращения рабочего органа n и коэффициента вариации размеров семян, v_c . Обоснованно рациональные параметры щелевого механического высевающего аппарата точного высева при $v_c = 3\%$: $b = 1,43$ и $n = 12,8$ об/мин при которых равномерность подачи семян составляет $v = 8,2\%$.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MECHANICAL DRILL UNIT

V. Kiurchev, E. Serbii

Summary

For precision seed drills, the development of sowing machines takes place in the direction of increasing the uniformity and speed of seed feed into the furrow. However, the improvement of sowing devices leads to:

- a significant complication of structures;
- increase in energy intensity and metal consumption;
- increase in the number of wearing parts.

The purpose of the research is to establish experimentally by the influence of the seed rotation speed, the width of the slit and the physical and mechanical properties of the seeds on the uniformity of its feed by a mechanical slotted seeding machine for precision seeding.

The article describes the method of laboratory analysis of mechanical slit seeding machines for precise seeding and experimental data processing, also the results of experimental studies.

The device for laboratory research was made on the basis of a mechanical seeding machine of precision seeding of the SST-12 seeder. The internal diameter of the sowing working part is 190 mm, the width of the sowing chamber is 50 mm.

Soybean seeds of “Diamond” variety were selected as seeding material, the dimensional characteristics of which were artificially changed by sifting on sieve with the preservation of an average diameter of 5.0 mm and a change in mean deviation of 0.1 to 0.4 mm. Drive unit – from electric motor, range of speed control from 0 to 60 rpm. To determine the time between the feeding of adjacent seeds t_i , a video was used with frequencies of 120 frames/sec, thus the accuracy of the time registration $\pm 0,0083$ s.

As a result of laboratory research the seed uniformity dependence on the groove relative width b , the working organ rotation speed n and the seed variation coefficient ν_c were obtained. The rational parameters of the precision seeding mechanical slit seeding machine at $\nu_c = 3\%$: are substantiated $b = 1,43$ and $n = 12,8$ rpm, in which the seed uniformity is $\nu = 8,2\%$.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ЧАСТОЧКИ ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ У ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ

Леженкін О. М., д. т. н.,
Головльов В. А., асп. *,
Михайленко О. Ю., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Рубцов М. О., к. т. н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – у статті надається аналіз класичної комбайнової технології збирання зернових, наводяться недоліки цієї технології, на підставі чого робиться висновок про можливість усунення цих недоліків шляхом впровадження технології збирання зернових культур методом обчисування рослин на корені з доробкою обчисаного вороху на стаціонарі. У статті вказується обмеженість технічних засобів реалізації пропонуємої технології, а саме: недостатність наукового обґрунтування режимів роботи пневмотранспортеру обчисаного вороху. Формується перша задача в цьому ланцюгу досліджень - побудова математичної моделі руху часточки обчисаного вороху. Розв'язання сформульованої задачі здійснюється методами теоретичної механіки та математичного аналізу. Для чого складається розрахункова схема на якій вказуються діючі на часточку сили. На підставі основного рівняння відносного руху матеріальної точки складається диференціальне рівняння, інтегрування якого дає можливість отримати математичну модель руху часточки обчисаного вороху в повітряному потоці, яка враховує швидкість повітряного потоку, масу часточки та міделівий переріз.

Ключові слова – математична модель, обчесаний ворох, рух часточки, диференціальне рівняння, повітряний потік.

Постановка проблеми. Як відомо на сьогоднішній день основною технологією збирання є комбайнова технологія. Але ця

© Леженкін О. М., Головльов В. А., Михайленко О. Ю., Рубцов М. О.

* Науковий керівник – д. т. н., проф. Леженкін О. М.

технологія має ряд недоліків [1]:

- недостатня продуктивність при збиранні вологої хлібної маси;
- залежність якісних показників збирання від погодних умов;
- суттєві втрати зерна, полови і соломи;
- ущільнення ґрунту внаслідок дії ходової частини комбайнів;
- існуючі комбайни – це складні, матеріалоємні та енерговитратні машини, і все це підвищує собівартість кінцевого продукту, хліба.

Уникнути цих недоліків можна при умові застосування стаціонарної технології збирання зернових методом обчісування рослин на корені [2, 3].

Технологічними засобами реалізації цієї технології є причіпна збиральна машина обчісуючого типу, причіп візок 2 ПТС-4.0, який чіпляється до збиральної машини та стаціонарний агрегат для доробки обчісаного вороху [4].

Причіпна збиральна машина складається з обчісуючого пристрою, шнекового транспортеру, пневматичного транспортеру та ходової частини [5, 6]. Конструктивні, технологічні та кінематичні параметри обчісуючого пристрою достатньо обґрунтовані в [7], конструктивні параметри в роботі [8].

Але ж параметри пневмотранспортеру обґрунтовані не в достатній мірі. Тому виникає проблема обґрунтування пневмотранспортеру.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні основи пневмотранспортування матеріалів відомі [9-11]. В загальні відома методика розрахунку швидкості повітряного потоку [12]. Також відомі окремі диференціальні рівняння руху зернівки у повітряному потоці [13]. Але ж на сьогоднішній день відсутня модель руху часточки обчісаного вороху зернових у повітряному потоці, яка враховує швидкість повітряного потоку, масу часточки, міделів переріз тіла щільність повітря та інше.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Побудувати математичну модель руху часточки обчісаного вороху зернових у повітряному потоці.

Основна частина. Розглянемо часточку обчісаного вороху зернових, яка рухається від рухомого криволінійного козирка пневмотранспортеру до причепа-возика (рис. 1).

Для спрощення побудови математичної моделі зробимо наступні припущення:

- швидкість повітряного потоку стала;
- повітряний потік спрямований прямолінійно.

Ці припущення дають можливість не враховувати переносну та

коріолісову сили інерції.

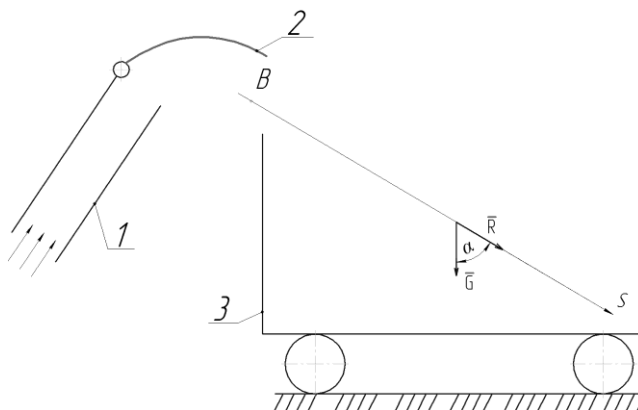


Рис. 1. Схема сил діючих на часточку обчисаного вороху: 1 – матеріалопровод пневмотранспортеру; 2 – рухомий козирок; 3 – причеп-возик для збирання обчисаного вороху.

Таким чином внаслідок цих міркувань ми можемо записати рівняння відносного руху часточки у вигляді [14]

$$m\bar{a}_{\text{від}} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_k, \quad (1)$$

де $\bar{a}_{\text{від}}$ – відносне прискорення часточки, м/с²;

$\sum_{i=1}^n \bar{F}_k$ – геометрична сума прикладених до часточки сил, Н;

m – маса часточки, кг.

Спроектуємо векторне рівняння (1) на вісь S

$$m \frac{du}{dt} = \sum_{i=1}^n F_{ks} \quad (2)$$

де u – швидкість часточки, тобто відносна швидкість, м/с;

$\sum_{i=1}^n F_{ks}$ – сума проєкцій на вісь S сил діючих на часточку, Н.

В свою чергу сума проєкцій сил, діючих на часточку дорівнює:

$$\sum_{i=1}^n F_k = R + G \cos \alpha, \quad (3)$$

де α – кут між віссю S і вектором сили тяжіння частинки (визначається експериментально);

R – сила дії повітряного потоку, Н;

G – сила тяжіння, Н.

Підставимо вираз (3) в рівняння (1)

$$m \frac{du}{dt} = R + G \cos \alpha \quad (4)$$

Сила дії повітряного потоку визначається за формулою Ньютона [15]:

$$R = k\rho_{\text{п}}F(V_{\text{п}} - u)^2, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт опору повітря;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

F – площа проекції тіла на площину перпендикулярну до напрямку дії повітряного потоку (міделів переріз), м^2 ;

$V_{\text{п}}$ – швидкість повітряного потоку, м/с .

Сила тяжіння визначається за формулою [14]:

$$G = mg, \quad (6)$$

де g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Підставляємо формули (5) і (6) в диференціальне рівняння (4), маємо:

$$m \frac{du}{dt} = k\rho_{\text{п}}F(V_{\text{п}} - u)^2 + mg \cos \alpha. \quad (7)$$

Розділимо ліву і праву частини рівняння (7) на m

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F(V_{\text{п}} - u)^2 + g \cos \alpha. \quad (8)$$

Зробимо алгебраїчні перетворення (8).

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F(V_{\text{п}}^2 - 2uV_{\text{п}} + u^2) + g \cos \alpha. \quad (9)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F \left[(V_{\text{п}}^2 - 2uV_{\text{п}} + u^2) + \frac{gm \cos \alpha}{k\rho_{\text{п}} \cdot F} \right]. \quad (10)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F \left[V_{\text{п}}^2 - 2uV_{\text{п}} + u^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k\rho_{\text{п}} \cdot F} \right]. \quad (11)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F \left[\left(V_{\text{п}}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k\rho_{\text{п}} \cdot F} \right) + (u^2 - 2uV_{\text{п}}) \right]. \quad (12)$$

Введемо позначення

$$a = \frac{k}{m} \rho_{\text{п}}F, \quad (13)$$

$$b = V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F}. \quad (14)$$

Підставивши вирази (13) і (14) в рівняння (12) матимемо:

$$\frac{du}{dt} = a \left[b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right]. \quad (15)$$

Розділимо ліву і праву частини рівняння (15) на $b + (u^2 - 2uV_{\Pi})$:

$$\frac{du}{\left[b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] dt} = a. \quad (16)$$

Помножимо і одночасно поділимо ліву частину виразу (16) на dS

$$\frac{du \cdot dS}{\left[b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] dt \cdot dS} = a. \quad (17)$$

В свою чергу $u = \frac{dS}{dt}$ і тоді з урахуванням даної формули, вираз (17) прийме вигляд:

$$\frac{udu}{\left[b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] \cdot dS} = a. \quad (18)$$

Щоб відокремити змінні помножимо ліву і праву частини рівняння на dS .

$$\frac{udu}{b + (u^2 - 2uV_{\Pi})} = adS. \quad (19)$$

Для збереження розмірностей в отриманому диференціальному рівнянні з відокремленими змінними (19) необхідно знати межі визначених інтегралів, які знаходяться з початкових умов. У нашому випадку початкові умови мають наступний вигляд: при $t_0 = 0$,

$$\begin{cases} u = u_0 = u_{\text{в}}, \\ S = S_0 = 0, \end{cases} \quad \text{де } u_{\text{в}} \text{ - швидкість частинки в точці вильоту з}$$

пневмотранспортеру.

Візьмемо визначений інтеграл від лівої частини рівняння (19)

$$\int_{u_{\text{в}}}^u \frac{udu}{u^2 - 2uV_{\Pi} + b} = \frac{1}{2} \int_{u_{\text{в}}}^u \frac{2u - 2V_{\Pi} + 2V_{\Pi}}{u^2 - 2uV_{\Pi} + b} du = \frac{1}{2} \int_{u_{\text{в}}}^u \frac{(2u - 2V_{\Pi}) du}{u^2 - 2uV_{\Pi} + b} + V_{\Pi} \int_{u_{\text{в}}}^u \frac{du}{u^2 - 2uV_{\Pi} + V_{\Pi}^2 - V_{\Pi}^2 + b} =$$

$$= \frac{1}{2} \ln |u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + V_{\pi} \int_{u_b}^u \frac{du}{(u - V_{\pi})^2 + b - V_{\pi}^2} = \frac{1}{2} \ln |u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u +$$

$$+ V_{\pi} \int_{u_b}^u \frac{du}{(u - V_{\pi})^2 + (\sqrt{b - V_{\pi}^2})^2} = \frac{1}{2} \ln |u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \Big|_{u_b}^u$$

Взявши інтеграл від правої частини, матимемо:

$$\frac{1}{2} \ln |u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \Big|_{u_b}^u = aS \Big|_0^S. \quad (20)$$

Підставивши в рівняння 19; межі інтегрування матимемо:

$$\frac{1}{2} \ln |u^2 - 2uV_{\pi} + b| - \frac{1}{2} \ln |u_b^2 - 2u_b V_{\pi} + b| + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} -$$

$$- \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_b - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} = aS$$

Підставимо в рівняння (20) позначення (13) і (14), в результаті отримаємо математичну модель:

$$\frac{1}{2} \ln \left| u^2 - 2uV_{\pi} + V_{\pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| - \frac{1}{2} \ln \left| u_b^2 - 2u_b V_{\pi} + V_{\pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| +$$

$$+ \frac{V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} - \frac{V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_b - V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} = \frac{k}{m} \rho_n F \cdot S \quad (21)$$

Висновки

1. Побудовано математичну модель руху часточки обчисаного вороху у повітряному потоці у неявному вигляді, яка встановлює залежність між швидкістю руху часточки і швидкістю повітряного потоку з урахуванням її міделевого перерізу, маси, та довжини шляху.

2. З отриманої моделі шляхом механіко-математичних досліджень можна визначити в явному вигляді залежність швидкості руху часточки обчисаного вороху від швидкості повітряного потоку, що в подальшому дозволить визначити витрати енергії у причеп-возик.

Література:

1. *Леженкин А. Н., Кравчук В. И., Кушнарев А. С.* Технология уборки зерновых методом очесывания на корню: состояние и перспективы: монография. Дослідницькое, 2010. 400 с.
2. *Леженкин А. Н.* Перспективная технология уборки зерновых

для фермерских и крестьянских хозяйств юга Украины // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар. науч. конф. Ярославль, 2003. Ч. III. С. 28-29.

3. *Леженкин А.* Уборка зерновых методом очеса // Сельский механизатор. 2004. № 11. С. 27.

4. *Леженкін І. О.* Доробка обчесаного вороху зернових на фураж // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке, 2012. Вип. 16 (30). Кн. 1. С. 437-441.

5. *Леженкин А.* Машина с очесывающим устройством // Сельский механизатор. 2004. № 12. С. 2.

6. Причіпна збиральна машина: пат. 98161 Україна: МПК А01D41/08 (2006. 01). № u 201408537; заявл. 28.07.2014; опубл. 27.04.015. Бюл. № 8.

7. *Голубев И. К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук. Москва, 1989. 201 с.

8. *Леженкін О. М.* Методика визначення допустимих значень допустимих значень конструктивних параметрів причіпної збиральної машини // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 4. С. 11-20.

9. *Сычугов Н. П.* Установки пневматического транспорта (классификация, основы теории, расчет основных узлов и пример расчета установки) : учебное пособие. Москва, 1970. 66 с.

10. *Буршан В. Р.* Пневматический транспорт на предприятиях пищевой промышленности. Москва: Пищевая промышленность, 1964. 137 с.

11. *Голобурдин А. И.* Пневмотранспорт в резиновой промышленности. Москва: Химия, 1983. 161 с.

12. Пневматический транспорт для сельскохозяйственных продуктов // Справочник конструктора сельскохозяйственных машин : в 4 т. / под ред. М. И. Клецкина. Москва: Машиностроение, 1967. Т. 2. С. 780-794.

13. *Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф.* Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. Москва: Машиностроение, 1977. 190 с.

14. *Булгаков В. М., Литвинов О. І., Войтюк Д. Г.* Інженерна механіка: підручник / за ред. В. М. Булгакова. Вінниця: Нова Книга, 2006. Ч. I. 504 с.

15. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / *Д. Г. Войтюк* та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОЧЕСАНОГО ВОРОХА ЗЕРНОВЫХ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Леженкин А. Н., Головлев В. А., Михайленко Е. Ю., Рубцов Н. А.

Аннотация – в статье показаны недостатки технических средств реализации технологии уборки методом очесывания растений на корню, а именно: недостаточность научного обоснования режимов работы пневмотранспортера.

MATHEMATICAL MODEL OF THE MOVEMENT OF THE COMBED GRAIN HEAP AFTER STRIPPER HARVESTING MODULE IN THE AIR FLOW

O. Lezhenkin, V. Holovlov, O. Mikhailenko, M. Rubtsov

Summary

The article provides an analysis of the classic combine harvesting technology, outlines the shortcomings of this technology, on the basis of which it is concluded that these shortcomings can be eliminated by introducing the technology of harvesting crops by the method of combing the plants on the roots with the completion of combed pile in the hospital. The article indicates the limitations of the technical means of implementation of the proposed technology, namely: the lack of scientific substantiation of modes of operation of the pneumatic conveyor combed heap. The first task in this chain of research is being formed – the construction of a mathematical model of the motion of a particle of a combed heap. The solution of the formulated problem is carried out by the methods of theoretical mechanics and mathematical analysis. The article presents mathematical expressions for determining the force of air flow and gravity. These mathematical expressions are substituted into the differential equation of the relative motion of a material point. On the basis of this equation, a differential equation is drawn up. The article deals with the solution of this equation by the methods of mathematical analysis. The analytical studies made it possible to draw the following conclusions: a mathematical model of the motion of a particle of a combed heap in an air stream in an implicit form is constructed, which establishes a relationship between the speed of the particle motion and the airflow rate taking into account its midsection, mass, and path length; from the obtained model by mechanical and mathematical researches it is possible to determine explicitly the dependence of the speed of movement of the particle of the combed heap on the speed of air flow, which in the future will allow to determine the energy consumption in the trailer truck.

МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ЧАСТОЧКИ ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ

Головльов В. А., асп.*,

Леженкін О. М., д. т. н.,

Вершков О. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Рубцов М. О., к. т. н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*

Тел. (098) 89-00-313

Анотація – у статті зазначається, що найбільш ефективним способом збирання зернових є метод обчісування рослин на корені. При чому найкращим варіантом є збирання зернових культур методом обчісування рослин на корені з доробкою обчісаного вороха на стаціонарі. Впровадження даної технології стримується відсутністю надійно функціонуючого збирального агрегату. При цьому найбільш вузьким місцем є система пневмотранспорту. Для обґрунтування якої необхідне проведення механіко-математичного досліджень. У статті поставлена задача знаходження аналітичної залежності для визначення швидкості руху часточки обчісаного вороху зернових. Використовуючи методи математики шляхом перетворення математичної моделі руху частинки вороху була отримана, залежність швидкості руху від швидкості повітряного потоку. Отримана залежність дає можливість моделювати процес та обґрунтувати найбільш економічний режим функціонування пневмотранспортера.

Ключові слова – математична модель, обчісаний ворох, рух часточки, диференціальне рівняння, повітряний потік.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день найбільш ефективним методом збирання зернових є обчісування рослин на корені з доробкою обчісаного вороху на стаціонарі, це фактично доведено в роботах [1-4]. Теоретичні основи обчісування рослин на корені закладені в роботах Шабанова П. А. [5]. Конструкція та основи розрахунку обчісуючого пристрою розглянуті в роботі Голубева І. К. [6]. Схематичне рішення всієї причіпної збиральної машини наведено

© Головльов В. А., Леженкін О. М., Вершков О. О., Рубцов М. О.

* Науковий керівний – д. т. н., проф. О. М. Леженкін.

в роботах [7, 8]. Згідно цих технологічних схем виготовлений її макетний зразок та проведені польові випробування [9, 10], які підтвердили високу ефективність методу обчислення рослин на корені (низький рівень втрат зерна, відсутність травмування, високу питому продуктивність збирального процесу). Але поряд із високою продуктивністю функціонування обчислюючого пристрою мала місце недостатня технологічна надійність транспортуючої системи. Це пов'язано з недостатнім обґрунтуванням параметрів та режимів роботи пневмотранспортеру. В зв'язку з чим виникає проблема теоретичного обґрунтування пневмотранспортеру.

Аналіз останніх досліджень. Диференціальні рівняння руху часточки у повітряному потоці наведені в роботі [11]. У даній роботі рух часточки розглядається, як відносний, а рух повітряного потоку переносний. Теоретичні дослідження проводяться з метою обґрунтування процесу пневмосепарації. У нашому випадку поставлена задача транспортування обчисаного вороху за допомогою повітряного потоку. Питання пневмотранспортування розглянуті в роботі [12]. Але в цій роботі мова йде про пневмотранспортування у гумовій промисловості і матеріали, які транспортуються по своїм фізико-механічним властивостям суттєвим чином відрізняються від обчисаного вороху зернових. В зв'язку з цим виникає проблема отримання залежностей для визначення швидкості руху часточки обчисаного вороху зернових.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Отримати залежність для розрахунку швидкості руху часточки обчисаного вороху зернових, від швидкості повітряного потоку, з урахуванням маси часточки та її міделевого перерізу.

Основна частина. Швидкість руху часточки можна визначити з математичної моделі:

$$\frac{1}{2} \ln \left| u^2 - 2uV_{\Pi} + V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| - \frac{1}{2} \ln \left| u^2 - 2u_{\Pi}V_{\Pi} + V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| + \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \arctg \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} - \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \arctg \frac{u_{\Pi} - V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} = \frac{k}{m} \rho_n F \cdot S, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт опору повітря;

ρ_n – щільність повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

F – площа проекції тіла на площину, перпендикулярну до напрямку дії повітряного потоку (міделевий переріз тіла), м^2 ;

V_{Π} – швидкість повітряного потоку, $\text{м}/\text{с}$;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

u_B – швидкість частинки в точці вильоту з пневмотранспортеру, м/с;

α – кут між віссю S і вектором сили тяжіння частинки (визначається експериментально);

S – довжина шляху який проходить часточка, м.

Для спрощення загального вигляду математичної моделі (1) введемо позначення:

$$a = \frac{k}{m} \rho_n F, \quad (2)$$

$$b = V_{\Pi}^2 + \frac{g m \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}.$$

Помножимо ліву та праву частину виразу (1) на 2 та одночасно підставимо позначення (2), в результаті отримаємо вираз:

$$\ln|u^2 - 2uV_{\Pi} + b| - \ln|u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + b| + \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \cdot \arctg \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \cdot \arctg \frac{u_B - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} = 2aS \quad (3)$$

Потім використовуючи властивості логарифмів можемо записати вираз (3) у вигляді [13]:

$$\ln \left| \frac{u^2 - 2uV_{\Pi} + b}{u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + b} \right| = 2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \cdot \left(\arctg \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} - \arctg \frac{u_B - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \right). \quad (4)$$

Пропотенціюємо вираз (4)

$$\frac{u^2 - 2uV_{\Pi} + b}{u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + b} = e^{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \left(\arctg \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} - \arctg \frac{u_B - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \right)}. \quad (5)$$

Помножимо обидві частини рівняння (5) на вираз $(u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + b)$, тоді:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = (u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + b) e^{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \left(\arctg \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} - \arctg \frac{u_B - V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \right)}. \quad (6)$$

Оскільки змінні u і V_{Π} входять до різних функцій, то виразити їх одне через друге явно, неможливо.

Для того, щоб можна було це зробити застосуємо розкладання відомих функцій в степеневі ряди (ряди Маклорена):

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots, \quad (7)$$

$$\operatorname{arctg} x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots \quad (8)$$

Зробимо грубу оцінку, взявши з цих розкладів лише лінійні члени. Спочатку застосуємо формулу (8):

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = (u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b) e^{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \left(\frac{u - V_{\Pi} - u_{\text{B}} + V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \right)}, \quad (9)$$

або

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = (u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b) e^{\frac{2aS - 2V_{\Pi}(u-u_{\text{B}})}{b-V_{\Pi}^2}}. \quad (10)$$

Тепер застосуємо формулу (7), матимемо:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = (u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b) \left(1 + 2aS - \frac{2V_{\Pi}(u-u_{\text{B}})}{b-V_{\Pi}^2} \right). \quad (11)$$

Якщо позначити $u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b = p$, то рівняння (11) можна переписати у вигляді:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b - \left(1 + 2aS - \frac{2V_{\Pi}(u-u_{\text{B}})}{b-V_{\Pi}^2} \right) p = 0, \quad (12)$$

або

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b - p - 2aSp + \frac{2V_{\Pi}(u-u_{\text{B}})}{b-V_{\Pi}^2} p = 0. \quad (13)$$

Позначивши $-p - 2aSp + b = C$, матимемо:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} \left(1 - \frac{p}{b-V_{\Pi}^2} \right) - \frac{2V_{\Pi}u_{\text{B}}p}{b-V_{\Pi}^2} + C = 0, \quad (14)$$

тобто квадратне рівняння відносно u .

Розв'язавши це рівняння відносно u виразимо явно функцію u від V_{Π} . Для розв'язання цього рівняння знайдемо дискримінант:

$$D = 4V_{\Pi}^2 \left(1 - \frac{p}{b-V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{8V_{\Pi}u_{\text{B}}p}{b-V_{\Pi}^2} - 4C = \left(2\sqrt{V_{\Pi}^2 \left(1 - \frac{p}{b-V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi}u_{\text{B}}p}{b-V_{\Pi}^2} - C} \right)^2,$$

тоді

$$u_1 = V_n \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right) - \sqrt{V_n^2 \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right)^2 + \frac{2V_n u_B p}{b - V_n^2} - C}, \quad (15)$$

$$u_2 = V_n \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right) + \sqrt{V_n^2 \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right)^2 + \frac{2V_n u_B p}{b - V_n^2} - C}. \quad (16)$$

або

$$u_1 = V_n \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right) - \sqrt{V_n^2 \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right)^2 + \frac{2V_n u_B p}{b - V_n^2} + p + 2aSp - V_n^2 - \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}, \quad (17)$$

$$u_2 = V_n \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right) + \sqrt{V_n^2 \left(1 - \frac{p}{b - V_n^2} \right)^2 + \frac{2V_n u_B p}{b - V_n^2} + p + 2aSp - V_n^2 - \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}. \quad (18)$$

Вибір робочих залежностей (17)-(18) можна здійснити підставивши в них значення параметрів.

Висновки

1. Вперше отримана математична модель швидкості руху часточки обчесаного вороху у повітряному потоці, яка у явному вигляді встановлює залежність між швидкістю руху часточки та швидкістю повітряного потоку.

2. Аналіз отриманої моделі дозволить в подальшому визначити раціональні кінематичні параметри вентилятору, які дозволять знизити витрати енергії при транспортуванні обчесаного вороху у причеп-возик.

Література:

1. Леженкин А. Н. Формирование стационарной технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств Украины // Праці ТДАТА. Мелітополь, 2006. Вип. 40. С. 195-205.

2. Кушнарёв А. С., Леженкин А. Н. Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских хозяйств // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунаrod. науч.-техн. конф. (г. Мелітополь, 25 февраля 2003 г.). Мелітополь, 2003. С. 17-21.

3. Леженкин А. Н. Энергетическая оценка стационарной технологии уборки зерновой части урожая // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 2. С. 5-7.

4. Леженкин А. Н. Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств юга Украины // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: материалы междунаrod. науч. конф. Ярославль, 2003. Ч. III. С. 28-29.

5. *Шабанов П. А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис... докт. техн. наук. Мелитополь, 1988. 336 с.

6. *Голубев И. К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук. Москва, 1989. 201 с.

7. *Леженкин А. Н.* Машина с очёсывающим устройством // Сельский механизатор. 2004. № 12. С. 2.

8. Причіпна збиральна машина: пат. 98161 Україна: МПК А01D 41/08 (2006. 01). № u 201408537; заявл. 28.07.2014; опубл. 27.04.2015. Бюл. № 8.

9. *Леженкин А. Н., Григоренко С. М.* Результаты полевых испытаний полевой уборочной машины для фермерских и крестьянских хозяйств // Техніка АПК. 2007. № 3. С. 30-32.

10. *Леженкін О. М., Григоренко С. М.* Аналіз виробничої перевірки збиральної машини для фермерських господарств // Праці ТДАТА. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 2. С. 194-202.

11. *Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф.* Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. Москва: Машиностроение, 1977. 190 с.

12. *Голобурдин А. И., Донат Е. В.* Пневмотранспорт в резиновой промышленности. Москва: Химия, 1983. 161 с.

13. *Выгодский М. Я.* Справочник по элементарной математике. 10-изд., стереот. Москва, 1957. 412 с.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЧАСТИЧКИ ОЧЕСАНОГО ВОРОХА

Головлев В. А., Леженкин А. Н., Вершков А. А., Рубцов Н. А.

Аннотация – в статье отмечается, что наиболее эффективным способом уборки зерновых является метод очесывания растений на корню. При этом лучшим вариантом является уборка очесанного вороха в поле с доработкой на стационаре. Для реализации данной технологии необходимо иметь уборочный модуль и стационарный пункт доработки очесанного вороха. Широкое внедрение данной технологии сдерживается отсутствием надежно функционирующего уборочного агрегата. При этом наиболее узким местом является пневмотранспортная система. Для обоснования которой необходимо проведение механико-математических исследований. В статье поставлена задача нахождения аналитической зависимости для определения скорости движения частицы очесанного вороха зерновых. Используя методы математики

путем преобразования математической модели движения частички вороха была получена зависимость движения частички от скорости воздушного потока. Полученную зависимость можно использовать для моделирования процесса, с целью обоснования наиболее экономического решения функционирования пневматического транспортера.

MATHEMATICAL MODEL OF THE MOVEMENT OF THE COMBED GRAIN HEAP AFTER STRIPPER HARVESTING MODULE IN THE AIR FLOW

V. Holovlov, O. Lezhenkin, O. Vershkov, M. Rubtsov

Summary

The article notes that the most effective method of harvesting cereals is the method of combing the plants on the root, which can be implemented in the combine or stationary. As a result of previous studies, it was found that the best option is to harvest a combed heap in a field with refinement at the hospital. To implement this technology, it is necessary to have a cleaning module and a stationary point for finalizing the combed heap. The widespread introduction of this technology is constrained by the lack of a well-functioning harvesting module. At the same time, the pneumatic transport system is the bottleneck. For substantiation of which it is necessary to conduct mechanical – mathematical research. The article poses the problem of finding an analytical relationship to determine the speed of movement of a particle of a combed heap of grain. Using the methods of mathematics by transforming the mathematical model of the movement of a particle of a grain heap after stripper module, the dependence of the movement of a particle on the speed of the air flow was obtained. The resulting dependence can be used to simulate the process in order to substantiate the most economic solution for the operation of a pneumatic conveyor.

Conducted analytical studies of the movement of a particle of combed heap made it possible to draw the following conclusions:

1. For the first time, a mathematical model of the velocity of a combed heap particle in an air stream is obtained, which explicitly establishes the relationship between the velocity of the particle motion and the airflow velocity.

2. The analysis of the obtained model will further determine the rational kinematic parameters of the fan, which will reduce energy consumption when transporting the combed heap to the trailer truck.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ

Михайлов Є. В., д. т. н.,

Задосна Н. О., інж.,

Афанасьєв О. О., асп.*

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-12-65

Анотація – в роботі представлено теоретичне дослідження визначення параметрів псевдозрідження зернового матеріалу у машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою.

Ключові слова – пневмосепарація, псевдозріджений стан, зерновий ворох, повітрявідокремлюючі домішки, очищення.

Постановка проблеми. Більшість зерно- і насіннеочисних машин для очищення зернового матеріалу від домішок у виробничих умовах мають невисоку ефективність технологічного процесу.

Низька ефективність виділення важковідокремлюємих домішок із насінневого матеріалу в більшості випадків викликає необхідність додаткового пропускання оброблюваного матеріалу через технологічні лінії, що призводить до втрат повноцінного насіння у фураж або відходи, а також до значного їх травмування [1].

Ця обставина обумовлює пошук, розробку і використання технічних рішень, спрямованих на вдосконалення конструкцій і основних робочих органів даних машин з метою підвищення ефективності їх роботи [2].

Аналіз останніх досліджень. В машинах попереднього очищення зерна актуальне значення має виділення крупних та повітря відокремлюємих сміттєвих домішок. Для вирішення цієї задачі може бути застосоване циліндричне решето (скальператор) [2]. У сільськогосподарському виробництві в області очищення та сушіння зерна використовуються процеси, в яких зерновий матеріал (ворох) знаходиться у псевдозрідженому стані [3, 4].

Доведено [5], що псевдозрідження зернового вороху підвищує продуктивність циліндричного решета із зовнішньою робочою

© Михайлов Є. В., Задосна Н. О., Афанасьєв О. О.

* Науковий керівник – д. т. н. Михайлов Є. В.

поверхнею до 2 разів. Тому застосування псевдозрідження для інтенсифікації попереднього очищення зерна є актуальною темою.

Формування цілей статті (постановка завдання). Теоретичне визначення параметрів процесу псевдозрідження зернового вороху в машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою.

Основна частина. Пневморешітний сепаратор зі замкненою повітряною системою [6] містить такі агрегати: діаметральний вентилятор, повітряроздавальний канал, завантажувальний пристрій, горизонтальне циліндричне решето із зовнішньою робочою поверхнею, лоток-інтенсифікатор, пневмосепаруючу камеру, двоступеневу осадову камеру, пристрої виводу сходових фракцій, всмоктуючий канал.

На рис. 1 приведена частина схеми технологічної лабораторно-виробничого стенду машини попереднього очищення зерна. Потік зернового матеріалу з бункера 1 поступає на лоток-інтенсифікатор 2. Нагнітаючий повітряний потік переводить зернову суміш на перфорованому лотку-інтенсифікаторі у псевдозріджений стан.

Пил, полова, збоїна та деякі великі, легкі і повітрявідокремлювані домішки переміщуються у верхній шар, а повноцінне зерно і дрібні важкі домішки – в нижній. Великі домішки відокремлюються циліндричним решетою 3, крізь яке проходить очищене зерно. Блок керованих жалюзі 5, додатково виділяє легкі домішки і виводить їх з циліндричного решета 3. Очисна щітка 4 відокремлює з поверхні решета застряглі крупні домішки. Такий пристрій збільшує питому продуктивність циліндричного решета до 2-х разів за рахунок переводу зернової суміші у псевдозріджений стан.

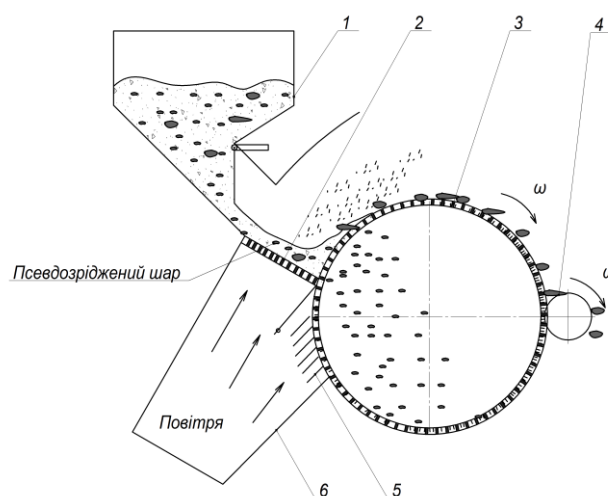


Рис. 1. Схема технологічна повітророзподільного пристрою лабораторно-виробничого стенду: 1 – бункер; 2 – лоток-інтенсифікатор; 3 – циліндричне решето; 4 – очисна щітка; 5 – блок керованих жалюзі; 6 – повітророзподільник

При псевдозрідженні зернової суміші проходять процеси сегрегації та сепарації. На них здійснюють вплив: фізико-механічні властивості матеріалу; сипучість; вологість; коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя часток; співвідношення кількості легких, малих та великих домішок; різниця компонентів по формі, стану поверхні, щільності, аеродинамічним властивостям [6].

Сегрегація полягає в накопиченні частинок певного розміру і щільності в різних по висоті зонах шару. Причому всі компоненти зернової суміші залишаються в псевдозрідженому стані. Сегрегація може служити основою процесу сепарації в псевдозрідженому шарі, хоча сепарація може мати і інші механізми [7].

При сепарації в повітряному потоці поведінку важких складових вороху визначають в основному масовими силами. На поведінку легких частинок, що виділяються з вороху, вирішальний вплив здійснює аеродинамічна сила [8].

При проходженні повітряного потоку через шар зернового матеріалу його гідравлічний опір збільшується із збільшенням швидкості повітря, одночасно збільшується і аеродинамічна сила повітряного потоку F . При певній швидкості повітряного потоку аеродинамічна сила F зрівноважить зведену силу тяжіння частини ($G - A$), тобто [9]:

$$F = G - A, \quad (1)$$

де G – вага твердих частинок зернистого матеріалу, N ;

A – Архімедова сила, N .

При цьому втрата тиску при переході зернового матеріалу у псевдозріджений шар буде дорівнювати [9]:

$$\Delta P = G/S, \quad (2)$$

де S – площа поперечного перерізу псевдозрідженого шару, m^2 .

Тобто втрата тиску ΔP дорівнює сумарній вазі шару, віднесений до площі поперечного перерізу S , незалежно від величини швидкості повітря. Ця властивість ілюструється графіком (рис. 2).

При зрідженні матеріалу, між часточками якого є зчеплення, спостерігається раптове збільшення перепаду тиску ΔP^* (крива 3, рис. 2). Для сипких матеріалів його величина не перевищує 1,5-5,0%. В апаратах, переріз яких збільшується по висоті, величина ΔP^* може в 2-3 рази перевищувати втрату тиску ΔP в стані псевдозрідження. При цьому можливе утворення фонтануючого шару [10].

При швидкості повітряного потоку більше швидкості початку псевдозрідження ΔP має практично постійне значення, що пояснюється збільшенням порозності шару, меншим числом контактів частинок один з одним, перемішуванням по всім напрямкам [11].

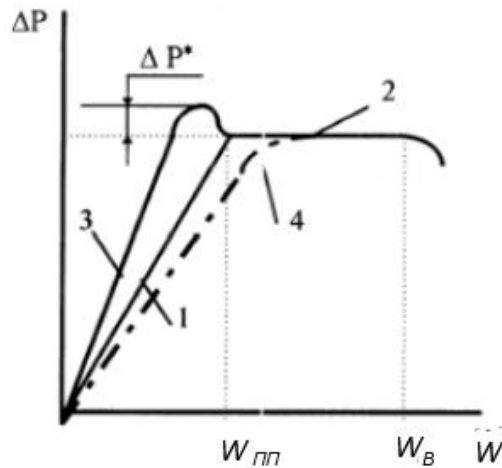


Рис. 2. Криві псевдозрідження зернистого матеріалу: 1 – крива фільтрації повітря крізь стаціонарний шар гладких сухих кульок; 2 – псевдозріджений стан; 3 – перехід у псевдозріджений стан шару з часточками між якими існує зчеплення; 4 – перехід у псевдозріджений стан полідисперсного матеріалу.

З урахуванням Архімедових сил перепад втрати тиску:

$$\Delta P^* = gH_0(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{п}})(1 - \varepsilon_0), \quad (3)$$

де ε_0 – порозність шару;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H_0 – висота нерухомого шару часток, м;

$\rho_{\text{п}}$ – щільність зріджуючого агента, кг/м³;

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність твердих часток, кг/м³.

Для зваженого шару твердих часток порозність визначається наступним виразом [12]:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{\text{ш}} - V_{\text{ч}}}{V_{\text{ш}}}, \quad (4)$$

де $V_{\text{ш}}$ і $V_{\text{ч}}$ – об'єм зваженого шару і об'єм, зайнятий безпосередньо твердими частками, відповідно.

З кретиреальної залежності [13]:

$$\varepsilon_0 = \left[\left(\frac{18Re + 0.36Re^2}{Ar} \right) \right]^n, \quad (5)$$

де $n = 0,21$ – при однорідному псевдозрідженні;

$n = 0,1 \dots 0,2$ – при неоднорідному псевдозрідженні;

Re – критерій Рейнольдса;

Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (6)$$

де d – еквівалентий діаметр несферичної частки, м;

ν – кінематична вязкість повітря, м²/с.

Еквівалентий діаметр несферичної частки розраховується з формули [12]:

$$d = d_{\text{ш}} \cdot \varphi, \quad (7)$$

де $d_{\text{ш}}$ – діаметр умовного шару, м,
 φ – фактор форми.

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{ч}}}{\pi}}, \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{f}, \quad (9)$$

де f – коефіцієнт несферичності.

В апаратах змінного по висоті перерізу швидкість псевдозрідження досягається в різних перерізах неодноразомно. Під швидкістю псевдозрідження розуміють таку її величину, при якій зріджуються часточки в усіх перерізах апарату.

Швидкість початку псевдозрідження $W_{\text{пп}}$ розраховується за формулою [13]:

$$W_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \varepsilon_0^3 \cdot g}{f \cdot \lambda \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot (1 - \varepsilon_0)}}, \quad (10)$$

де λ – коефіцієнт тертя.

Також можливо розрахувати $W_{\text{пп}}$ через критерій Рейнольдса:

$$W_{\text{пп}} = \frac{Re \cdot \nu}{d} \quad (11)$$

$$Re_{\text{пп}} = \frac{Ar}{1400 + 5.22 \sqrt{Ar}} \quad (12)$$

Межі існування псевдозрідженого шару є обмеженими швидкістю початку псевдозрідження і швидкістю винесення часток. Коли відбувається зростання швидкості газу, псевдозріджений шар зернового матеріалу поступово розширюється, його висота збільшується і втрати тиску при цьому залишаються практично постійними.

Критерій Рейнольдса для визначення швидкості виносу частинок розраховується так [13]:

$$Re_{\text{в}} = \frac{Ar}{18 + 0.61 \sqrt{Ar}} \quad (13)$$

Відношення робочої (фіктивної) швидкості газу $W_{\text{ф}}$ до критичної швидкості псевдозрідження $W_{\text{пз}}$ називають числом псевдозрідження [14]:

$$K = \frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{пз}}} \quad (14)$$

Дійсна робоча швидкість потоку газу W_D у вільному перерізі між частками псевдозрідженого шару, або швидкість фільтрації, визначається виразом:

$$W_D = \frac{W_\Phi}{\varepsilon_0} \quad (15)$$

На практиці використовується сепарація зернистих матеріалів, заснована на виносі з псевдозрідженого шару часток з більш низькими швидкостями витання. Процес проводиться при робочій швидкості повітря, проміжної між швидкостями витання компонентів.

Висновки.

1. Описано використання способу псевдозрідження зернового вороху у машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою, який дозволяє підвищити питому продуктивність до 2-х разів.

2. Визначені параметри процесу псевдозрідження зернового вороху (швидкість початку псевдозрідження $W_{\text{пп}}$, швидкість фільтрації W_D , порозність ε_0 , число псевдозрідження K), які впливають на підвищення продуктивності процесу попереднього очищення зернового вороху.

Література:

1. *Дерев'інко Д. А., Тарасенко О. П., Оробінський В. І.* Вдосконалення пневмосепарування в зерноочисній машині та його вплив на травмування і якість насіння // *Механізація та електрифікація сільського господарства.* 2013. Вип. 97. С. 375-386.

2. *Саитов В. Е., Курбанов Р. Ф., Саитов А. В.* Технические решения по повышению эффективности функционирования пневмосистем зерноочистительных машин // *Современные наукоемкие технологии.* 2015. № 6. С. 36-40.

3. *Скринник І. О.* Обґрунтування параметрів зерносушарки каскадного типу для обробки насіння у киплячому шарі: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2010. 17 с.

4. *Васильев Д. В.* Повышение эффективности процесса аэродинамического транспортирования зернового вороха за счет управления параметрами воздушного потока: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Санкт-Петербург, 2014. 156 с.

5. *Михайлов Е. В.* Методы и средства интенсификации процесса предварительной очистки зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Ленинград - Пушкин, 1983. 213 с.

6. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою: пат. 116021 Україна: МПК В07В 4/02 (2006.01), В07В 1/28 (2006.01). № u201609901; Заявл. 26.09.2016; Опубл. 10.05.2017. Бюл. № 9.

7. Расслоение в псевдоожигежном слое. URL: <https://repetitora.com/rassloenie-v-psevdoozhizhenom-sloe> (дата звернення: 19.07.2019).

8. *Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф.* Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. Москва: Машиностроение, 1977. 192 с.

9. Расчеты аппаратов кипящего слоя: справочник / А. П. Баскалов и др. Ленинград: Химия, 1986. 352 с.

10. *Ковенский Г. И.* Управляемое псевдоожигение. Минск: АНК ИТМО НАНБ, 1999. 144 с.

11. Техника и технологии псевдоожигения: гидродинамика и теплообмен с погруженными телами: монография / С. И. Дворецкий и др. Тамбов, 2005. 168 с.

12. *Бедарев С. В.* Применение технологии кипящего слоя в энергетике: магистерская диссертация. Барнаул, 2017.

13. *Тодес О. М., Цитович О. Б.* Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы. Ленинград: Химия, 1981. 296 с.

14. *Корнієнко Я. М., Сачок Р. В.* Процеси переносу в дисперсних системах: навч. посібник. Київ, 2011. 132 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА

Михайлов Е. В., Задосная Н. А., Афанасьев О. О.

Аннотация – большинство машин для очистки зернового материала от примесей в производственных условиях имеют невысокую эффективность технологического процесса.

Это обстоятельство обуславливает поиск, разработку и использование технических решений, направленных на совершенствование конструкций и основных рабочих органов данных машин с целью повышения эффективности их работы.

Доказано, что псевдоожигения зернового вороха повышает производительность цилиндрического решета с внешней рабочей поверхностью. Поэтому применение псевдоожигения для интенсификации предварительной очистки зерна является актуальной темой.

В статье описано использование способа псевдоожигения зернового вороха в машине предварительной очистки зерна с замкнутой воздушной системой, который позволяет повысить удельную производительность до 2-х раз.

Определены параметры процесса псевдоожигения зернового вороха (скорость начала псевдоожигения, скорость

филтрации, порозность, число псевдооживения, которые влияют на повышение производительности процесса предварительной очистки зернового вороха).

THEORETICAL ANALYSIS OF THE PROCESS FLUIDIZATION OF THE GRAIN MIXTURE

E. Mikhailov, N. Zadosnaya, O. Afanasiev

Summary

Most machines for cleaning grain material from impurities in a production environment have a low efficiency of the process.

This circumstance determines the search, development and use of technical solutions aimed at improving the designs and main working bodies of these machines in order to increase the efficiency of their work.

It has been proven that fluidization of a heap of grain improves the performance of a cylindrical sieve with an outer working surface. Therefore, the use of fluidization for the intensification of pre-cleaning of grain is a hot topic.

The article describes the use of the method of fluidization of grain heap in a grain pre-cleaning machine with a closed air system, which allows to increase the specific productivity up to 2 times.

The article discusses the analysis of the effective forces during the passage of air flow through a layer of grain material. The pseudo-discharge curves of the grain material are given, namely, the curve of air filtrations through the stationary layer of smooth balls, the fluidized state curve, the fluidized state transition of the layer, as well as the fluidized state transition of the polydisperse material.

The parameters of the process of fluidization of the grain heap (the speed of the onset of fluidization, filtration rate, porosity, number of fluidization, which affect the performance of the process of preliminary cleaning of the grain heap) are determined.

The theoretical analysis made it possible to formulate the following conclusions: the use of the method of fluidization of grain heap in the machine of preliminary cleaning of grain with the closed air system which allows to increase specific productivity up to 2 times is described; the parameters of the grain heap fluidization process (the rate of onset of the fluidization $W_{\text{ин}}$, the filtration rate $W_{\text{л}}$, the porosity ε_0 , the number of fluidization K) that influence the productivity of the pre-cleaning process of the grain heap are determined.

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ СТРІЛЧАТОЇ ЛАПИ НА ОСНОВІ БІОЛОГІЧНОГО ПРОТОТИПУ

Михайлов Є. В., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Волик Б. А., к. т. н.,

Теслюк Г. В., к. т. н.,

Коновий А. В. асп.*

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Анотація – в роботі нами запропонована методика обґрунтування конструктивної схеми стрілчастої лапи на підставі аналізу тіла біологічного прототипу – каліфорнійського морського ската. Наведено приклад конкретного розрахунку профілю різального периметра, базовий розмір якого відповідає розмірам технічного прототипу.

Технології вирощування сільськогосподарських культур мають стійку тенденцію до вдосконалення, що вимагає такої ж постійної адаптації системи машин до умов експлуатації. Зміни в технології практично завжди супроводжуються змінами в системі обробки ґрунту. Серед останніх істотних інновацій необхідно відзначити систему органічного землеробства. Характерною особливістю її впровадження є наявність у поверхневому шарі ґрунту значної кількості рослинних залишків, які не пройшли повністю стадію гуміфікації. В результаті ступінь консолідації ґрунту знижується. У той же час, основні ґрунтообробні знаряддя розраховані на роботу в умовах підпірного різання і їх використання в умовах зниженої консолідації оброблюваного середовища стає проблематичним. В якості вирішення проблеми нами пропонується покращити обтічність робочих поверхонь і різучого периметра на основі використання методів біоніки. Зокрема за допомогою запозичення форми тіла морських тварин, що мають хороші гідродинамічні властивості.

Ключові слова – органічне землеробство, консолідація ґрунту, стрілчаста лапа, безпідпірне різання, біологічний аналог, критерій подібності.

© Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В.

* Науковий керівник – к. т. н., доц. Волик Б. А.

Постановка проблеми. Основна відмінність традиційної технології з використанням полицевого обробітку від поверхневого в системі органічного землеробства полягає в принципах формування гумусового профілю у ґрунті. В першому випадку рослинні рештки заорюють на велику глибину. В другому у поверхневий шар.

Рослинні рештки, що попали у ґрунт або знаходяться на його поверхні підвержені розкладанню під дією мікроорганізмів і ґрунтової фауни. Процес розкладання має два різновиди – мінералізація і гуміфікація.

Мінералізація – розпадання органічного матеріалу до кінцевих продуктів: води, азоту, фосфору, магнію, калію кальцію та ін.

Гуміфікація – сукупність біохімічних і фізико-хімічних процесів трансформації продуктів розкладання органічних решток в гумусові кислоти ґрунту. Підсумок гуміфікації – закріплення у ґрунті органічного матеріалу у формі нових продуктів, стійких до мікробіологічного розкладу. Ці матеріали є акумуляторами запасів енергії і елементів живлення для наступного покоління рослин.

Швидкість розпадання у значній мірі залежить від типу ґрунту і його гранулометричного складу, а також від типу процесу – аеробний чи анаеробний. При глибокому заорюванні рослинних решток переважають анаеробні процеси, при поверхневому аеробні. Як наслідок в поверхневому шарі гумус утворюється швидше, але він бистріше і мінералізується.

Ще одна особливість – надземна маса, особливо бобових розпадається швидше за кореневу систему і коренева система мінералізується з меншою швидкістю.

Технологія також передбачає розкидання по поверхні подрібнених решток попередника. Рослинні рештки заорюють лущільником або дискатором на глибину до 10 см. Таким чином, у поверхневому шарі накопичується значна кількість рослинних решток, які ще не пройшли стадію гуміфікації.

Поверхневий обробіток, як правило виконують комбінованим агрегатом у складі – стрілочастих лап, турбодискові секції і ножового катка.

Конструктивні параметри і режим роботи стрілочасті лапи визначається механіко-технологічними властивостями середовища, що обробляється. В даному випадку середовище слабо консолідоване і режим підпірного різання на який розраховані стрілочасті лапи не виконується. Таким чином, використання культиватора з лапами традиційного виконання є проблематичним.

Аналіз останніх досліджень. Як відомо [1], працездатність лапи визначають кути: розкриття крил, постановки крил до dna борозни, підйому груді. Методики визначення абсолютних значень

наведених кутових параметрів добре відпрацьовані [1], але вони працюють за умови підпорного різання, що в умовах слабо консолідованого ґрунту не зовсім відповідає дійсності. Модель повинна бути змінена.

Відомий фермер Лазаренко І. І. експериментально відпрацював конструкцію стрілчастої лапи (рис. 1, а) для роботи саме в таких умовах.

Як видно на рисунку, лапа має підвищену стріловидність і лезо крила з рваною поверхнею диференційованої зносостійкості. Завдяки швидкісному напору така конструкція у парі з ножовим катком досить якісно виконує розпушення на глибину до 15 см (рис. 1, б), але, як правило, такої якості вдається досягти як мінімум за два проходи агрегату.



а



б

Рис. 1. Стрілчаста лапа конструкції Лазаренко І. І. (а); загальний вид плантації після проходу культиватора (б)

Відомий агроєколог Антонєць А. С. [2] рекомендує вести обробку на глибину 5 см і теж виконувати два проходи.

Аналіз роботи фермерських господарств Швейцарії, країни де органічне землеробство широко практикується теж підтверджує глибину 5 см і дворазове проходження агрегату [3].

Таким чином, за один прохід якісне підрізання не виконується, не дивлячись на те, що всі три джерела рекомендують підвищення швидкості на 20-30%, що свідчить про те, що лапу треба адаптовувати на безпідірний режим різання. Забезпечити такий режим можна покращенням обтічності робочого органу.

В даному розрізі перспективним є використання методів біоніки і зокрема методу функціональних аналогій [4-7]. Сутність методу полягає в тому, що параметри знаряддя отримують шляхом моделювання біологічного аналогу. Для ґрунтообробних машин

основні принципи моделювання закладені Гудковим А. Н. [6], найбільш детальні дослідження виконані Бабіцьким Л. Ф. [4-6]. На даний момент можна виділити два основних напрямки досліджень:

- біологічний аналог функціонує в середовищі, аналогічному досліджуваному, наприклад, землерої, хрпаки;
- аналог функціонує у водному середовищі, наприклад, акула, морський скат;
- аналог функціонує у повітряному середовищі, наприклад орел, ластівка, кондор.

Але, скопіювати біологічний прототип це тільки половина діла. Для вирішення конкретної практичної задачі необхідно на основі копії створити відповідний математичний апарат (математичну модель), який би дозволив виконати адаптацію моделі до конкретних умов експлуатації.

Формування цілей статті (постановка завдання). Обґрунтування методами біоніки конструктивних параметрів стрільчастої лапи, адаптованої до роботи в умовах органічного землеробства.

Основна частина. Аналізом літературних джерел встановлено, що з точки зору гідродинаміки тіло акули і морського скату – самі раціональні природні конструкції [8, 10]. За формою тіло каліфорнійського морського скату найбільш відповідає формі стрільчастої лапи і тому його прийняли в якості біологічного аналогу.

До особливостей будови тіла скату, які визначають його гідродинаміку і які обов'язково повинні бути враховані в моделюванні слід віднести:

- ключовидний ніс;
- форма тіла – закруглена спереду та загострена ззаду;
- ріжуча кромка по периметру має профіль, що забезпечує розсікання середовища ламінарним потоком, тобто без завихрення.

Після того, як аналог обраний, процес формування конструкції робочого органа проходить декілька етапів. Розглянемо їх послідовно.

Шляхом обміру фотографічного зображення аналогу, створюється геометрична модель, яка за формою і розмірами йому повністю відповідає (рис. 2).

Результати замірів необхідно представити у табличному виді, що необхідно для складання регресійної моделі.

Взявши за основу геометричну модель, розробляємо розрахункову схему (рис. 3). Розміри необхідно прийняти у відповідності до критерію подібності. В нашому випадку - це співвідношення визначального конструктивного параметра технічного прототипу – це ширина захвату B_p і ширини тіла біологічного аналогу Y_8 .

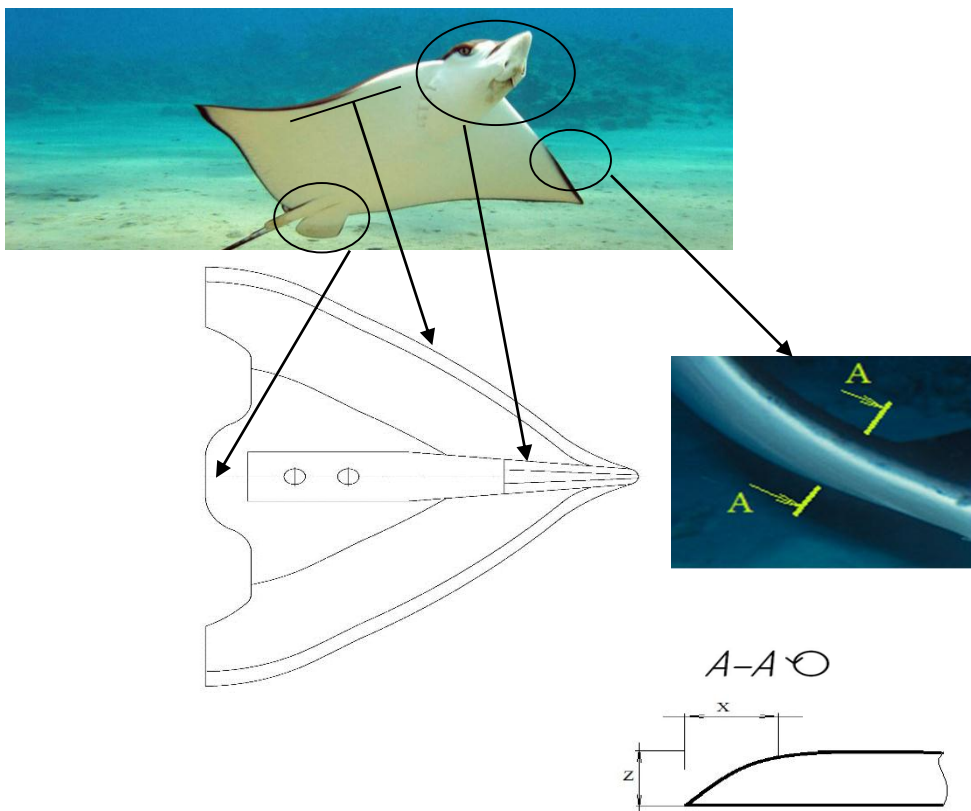


Рис. 2. Принцип формування геометричної моделі

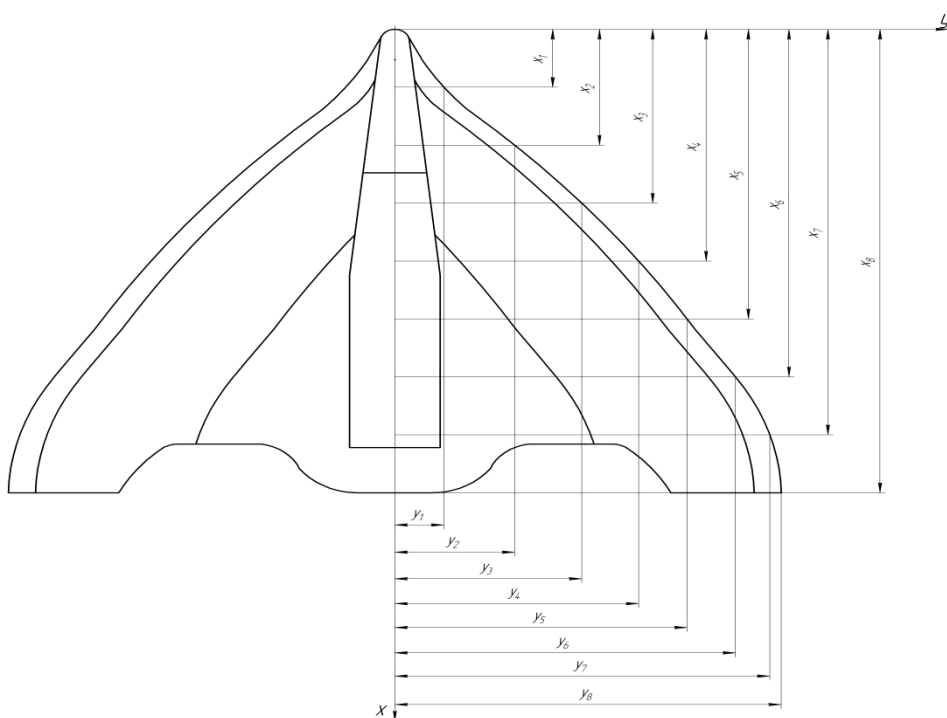


Рис. 3. Розрахункова схема прототипу стрілкової лапи

Методом найменших квадратів виконуємо апроксимацією отриманого масиву даних (табл. 1) і знаходимо аналітичні вирази, що описують геометрію робочого органу. Але апроксимація може бути

виконана різними регресійними моделями. Тому за загальновідомою методикою [11] будемо найбільш імовірні рівняння регресії і окреслюємо такі, що в подальшому можуть бути використані в математичній моделі. Введемо наступні позначення: K_K – коефіцієнт кореляції; K_D – коефіцієнт детермінації; K_{Π} – середня похибка апроксимації.

Таблиця 1 – Параметри контуру ріжучого периметра робочого органу з урахуванням величини критерію подібності $K_{\Pi} = 1$

x, мм	0	40	80	120	160	200	240	280	320
y, мм	0	28	67	102	132	158	184	203	212

– Лінійна регресія

$$y=0.6667x+15.7500 \quad (K_K = 0,9871; K_D = 0,9745; K_{\Pi} = 10,81\%)$$

– Квадратична регресія

$$y=-0.0013x^2+1.1461x-16.2143 \quad (K_K = 0,9997; K_D = 0,9993; K_{\Pi} = 10,91\%)$$

– Статична регресія (степенна)

$$y=0.8742x^{0,9739} \quad (K_K = 0,9812; K_D = 0,9628; K_{\Pi} = 7,40\%)$$

– Показова регресія

$$y=36.1792 \cdot 1.0065^x \quad (K_K = 0,85,26; K_D = 0,7269; K_{\Pi} = 23,77\%)$$

– Логарифмічна регресія

$$y=36.1792+1.0065 \ln x \quad (K_K = 0,9876; K_D = 0,9753; K_{\Pi} = 12,80\%)$$

– Гіперболічна регресія

$$y=204.7-8123.6/x \quad (K_K = 0,9016; K_D = 0,8129; K_{\Pi} = 29,87\%)$$

– Експоненціальна регресія

$$y=e^{3,5885} + 0.0064x \quad (K_K = 0,8526; K_D = 0,7269; K_{\Pi} = 23,77\%)$$

Результати розрахунків за наведеними формулами представлені в табл. 2.

Аналіз коефіцієнтів кореляції показує, що квадратична регресія найбільш адекватно описує залежність і її слід прийняти за основну. Проте і всі інші рівняння можуть бути використані при розробці остаточної математичної моделі взаємодії ріжучого периметра з ґрунтом.

Таблиця 2 – Розрахункові значення Y , мм по контуру знаряддя

Вихідні дані		Значення Y у відповідності до регресійної моделі						
X	Y	Лінійна	Квадратична	Статенна (степенная)	Показова	Логарифмічна	Гіперболічна	Експоненціальна
40	28	42,4	27,5	31,8	46,8	12,6	1,7	46,8
80	67	69,1	66,1	62,4	60,5	77,0	103,2	60,6
120	102	95,8	101,0	92,6	78,4	114,7	137,5	78,4
160	132	122,4	132,6	122,5	101,4	141,4	154	101,5
200	158	149,1	160,2	152,2	131,4	162,1	164,1	131,4
240	184	175,8	183,3	181,8	170,0	179,1	170,9	170,0
280	203	202,3	201,1	211,3	220,0	193,4	175,7	220,0
320	212	229,8	213,0	240,6	284,7	205,8	179,4	284,8

Висновки. Запропонована методика дозволяє отримати регресійне рівняння профілю ріжучого периметра робочого органу, що дозволяє розробити математично модель його взаємодії з оброблюваним середовищем. Наявність такої моделі у сукупності з моделлю ґрунту, надає можливість провести адаптацію профілю до роботи в ґрунтових умовах.

Література:

1. *Кобець А. С., Волик Б. А., Пугач А. М.* Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія. Дніпропетровськ, 2011. 140 с.
2. Система органічного землеробства агроєколога С. С. Антонця / В. В. Писаренко та ін. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/node/3483/sistemaorganichnogozemlerobstvaantontsya.pdf> (дата звернення: 18.08.2019).
3. *Хегглі Д. (FiBL), Клерк М. (FiBL), Дірауер Х.* Мінімальний обробіток ґрунту. Застосування в органічному землеробстві. URL: http://www.ukraine.fibl.org/fileadmin/documentsukraine/Booklets/Zemlja_A4.pdf (дата звернення: 18.08.2019).
4. *Бабицький Л. Ф., Москалевич В. Ю., Соколевський І. В.* Бионико-механические основы сельскохозяйственных машин. Теория и методы. LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2016. 384 с.
5. *Бабицький Л. Ф.* Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. Київ: Урожай, 1998. 164 с.
6. *Бабицький Л. Ф., Москалевич В. Ю.* Бионические основы технических решений: учебное пособие. Симферополь: ЮФ НУБиП Украины «КАТУ», 2010. 84 с.

7. Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. И. Динамические системы и модели в биологии. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 400 с.

8. Першин С. В. Гидродинамические аспекты изучения движения водных животных // Бионика / под ред. Б. С. Сотскова. Москва: Наука, 1965. С. 207-215.

9. Скоринкин А. И. Математическое моделирование биологических процессов. Казань, 2015. 86 с.

10. Гудков А. Н. Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы // Земледельческая механика. Москва: Машиностроение, 1966. Т. 9. С. 86-97.

11. Аппроксимация функции одной переменной: онлайн калькулятор. URL: <https://planetcalc.ru/5992/> (дата звернення: 18.08.2019).

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ СТРЕЛЬЧАТОЙ ЛАПЫ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОТОТИПА

Михайлов Е. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновой А. В.

Аннотація – **технології** **выращивания** **сельскохозяйственных культур** имеют устойчивую тенденцию к совершенствованию, что требует такой же постоянной адаптации системы машин к условиям эксплуатации. Изменения в технологии практически всегда сопровождаются изменениями в системе обработки почвы. Среди последних существенных инноваций необходимо отметить систему органического земледелия. Характерной особенностью ее внедрения является наличие в поверхностном слое почвы значительного количества растительных остатков не прошедших полностью стадию гумификации. В результате степень консолидации почвы снижается. В то же время основные почвообрабатывающие орудия рассчитаны на работу в условиях подпорного резания и их использование в условиях пониженной консолидации обрабатываемой среды становится проблематичным. В качестве решения проблемы нами предлагается улучшить обтекаемость рабочих поверхностей и режущего периметра на основе использования методов бионики. В частности посредством заимствования формы тела морских животных, имеющих хорошие гидродинамические свойства.

METHOD OF REASONING OF THE CONSTRUCTION SCHEME OF MULTIPLE LAPP ON THE BASIS OF THE BIOLOGICAL PROTOTYPES

E. Mikhailov, B. Volik, G. Tesluk, A. Konovoy

Summary

Crop growing technologies have a steady tendency to improvement, which requires the same constant adaptation of the machine system to the operating conditions. Changes in technology are almost always accompanied by changes in the tillage system.

Among the last essential innovations it is necessary to note the system of organic farming. A characteristic feature medium becomes of its introduction is the presence in the surface layer of the soil of a significant amount of plant residues that have not completely passed the stage of humification. As a result, the degree of soil consolidation is reduced. At the same time, the main tillage implements are designed for work in the conditions of retaining cutting and their use in conditions of reduced consolidation of the processed problematic. As a solution to the problem, we propose to improve the streamlining of the working surfaces and the cutting perimeter based on the use of bionics methods. In particular, by borrowing the body shape of marine animals with good hydrodynamic properties.

The purpose of this study is to substantiate by the methods of bionics the design parameters of the lancet paw, adapted to work in organic farming.

In this paper, we have proposed a method for substantiating the constructive schema of the arched lapi on the basis of an analysis of the body of a biological prototype – the California sea stingray. An example of a specific calculation of the cutting perimeter profile is given, the basic dimensions of which correspond to the dimensions of a technical prototype.

The studies conducted allowed us to draw the following conclusions: the proposed method allows to obtain the regression equation of the profile of the cutting perimeter of the working body, which allows to develop a mathematical model of its interaction with the treated environment. The presence of such a model in combination with the soil model, makes it possible to adapt the profile to work in soil conditions.

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА З ВЕРТИКАЛЬНИМ БУНКЕРОМ

Дереза О. О., к. т. н.,

Болтянський Б. В., к. т. н.,

Дереза С. В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – сільськогосподарське виробництво являється пріоритетною галуззю економіки України. Проблеми виведення економіки із кризи, в якій вона опинилась в останній час, являються дуже актуальними і для сільського господарства. Невід’ємною частиною і однією з найважливіших складових частин сільського господарства є тваринництво. В дійсний час тваринництво у зв’язку з деякими об’єктивними і суб’єктивними причинами переживає свої не найкращі часи. Поголів’я тварин і птиці в усіх регіонах України значно скоротилось, продуктивність їх дуже низька. Виробництво продукції тваринництва стало збитковим і не рентабельним. Підвищити рентабельність тваринництва можна за рахунок зниження витрат на утримання тварин і підвищення їх продуктивності шляхом покращення годування, збалансованості раціонів, належної підготовки кормів перед згодовуванням, нормованої видачі кормів тваринам. Максимальне зниження питомих витрат кормів можна забезпечити насамперед на основі механізації кормоприготування збалансованих кормових сумішей та їх нормованої видачі. Традиційна технологія приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ у нашій країні базувалась на застосуванні універсальних завантажувачів, тракторних причепів, кормоцехів КОРК-15 і КЦК-5, роздавачів КТУ-10А і РММ-Ф-6. Ця технологія енерго-, метало-, трудомістка і не забезпечує в умовах України середніх надоїв прибуткового молока і конкурентних на ринку продуктів переробки молока. Аналіз систем приготування і роздавання кормів у зарубіжних країнах із розвинутим молочним скотарством свідчить, що там застосовуються малокомпонентні кормосуміші, а для їх приготування і роздавання – переважно

універсальні комбіновані машини, які забезпечують навантаження, подрібнення, дозування, змішування, транспортування і роздавання кормів. За кордоном такі машини отримали назву «міксер». На даний момент найбільшого поширення знайшли міксери з вертикальним розміщенням змішувальних робочих органів – шнеків. У статті розглянуто умови самоочищення шнеків від кормової суміші та визначені основні чинники для правильного вибору площі вивантажувального вікна.

Ключові слова – тваринництво, кормоприготування, кормова суміш, кормороздавач-змішувач, міксер, бункер, турбошнек, частота обертання, самоочищення витків шнека.

Постановка проблеми. У сільськогосподарському виробництві України, в умовах ринкової економіки, спостерігається тенденція розвитку нових та реконструйованих тваринницьких ферм різного розміру. Разом з тим на фермах залишається невисокий рівень механізації виробничих процесів. Так, якщо на молочних фермах в цілому по країні комплексна механізація становить близько 80%, то на малих – всього лише 18% [1].

Проблемним є питання застосування технологій і технічних засобів механізації приготування і роздавання кормів. Ці процеси займають основну частку витрат праці (до 40% в загальному балансі витрат) [1, 9].

Аналіз останніх досліджень. В даний час практично на всіх тваринницьких фермах і комплексах процеси приготування і роздавання кормів здійснюють універсальні змішувачі-роздавачі з різними типами робочих органів: бітерними, лопатевими, шнековими з горизонтальним або вертикальним розташуванням валів [5-11].

Поєднання двох або кількох операцій в одному технічному засобі дозволяє знизити енергоємність і металоємність процесу приготування і роздавання повнораціонних кормових сумішей, а також скоротити кількість навантажувально-розвантажувальних і транспортних робіт [2, 5].

На сучасному етапі розвитку тваринництва однією з найбільш перспективних є технологія годівлі великої рогатої худоби, відповідно до якої всі види кормів роздають тваринам одночасно у вигляді збалансованої за поживністю кормової суміші, приготовленої в багатофункціональних агрегатах подрібнювачах-змішувачах-роздавачах кормів [2-5]. Для реалізації даної технології до 30 європейських фірм виробляють щорічно більше 10 тисяч багатофункціональних агрегатів. В Україні виробництво таких агрегатів налагодило ВАТ «Брацлав».

Створення кормороздавачів-змішувачів для ферм ВРХ у світовій практиці велось в трьох напрямках [1, 6, 9, 11]:

- роздавачі лопатевого типу змішування;
- роздавачі горизонтального типу змішування;
- роздавачі вертикального типу змішування.

Вертикальне змішування при умові дотримання усіх висунутих до нього вимог на сьогодні є найбільш досконалим. Вертикальні кормороздавачі дозволяють одержати більш гомогенну кормову масу. Вони схильні до незначного зношування різальних робочих органів, а затрати палива порівняно менші [6, 7, 9, 11].

Бункери вертикального типу мають конусну форму (при наявності одного турбошнека) і видовжену, коли турбошnekів два чи три. Різноманітність конструктивних рішень пов'язана із пошуками мінімальних затрат енергії на процес приготування кормової суміші та підвищенням стійкості до зношування і довговічності робочих органів [6, 8, 10, 11].

Але в той же час вертикальні змішувачі мають і ряд недоліків. Базові машини всесвітньо відомих виробників, зокрема, таких як «Kuhn», «Seko», «Marmix», «Italmix», «DeLaval», «Patz», «JayLor», не цілком і не завжди відповідають потребам українських умов виробництва. Як було виявлено під час експлуатації, багатофункціональні кормові агрегати з вертикальним бункером і конічним шнеком забезпечують прийом по масі, якісне подрібнення і змішування кормових компонентів та дозовану видачу їх тваринам. Однак, при впровадженні агрегатів доводиться стикатися з великими труднощами, викликаними великою потужністю, потрібної на їх привод (більше 30 кВт) та зношеністю наявних тракторів класу 1,4 (ЮМЗ, МТЗ всіх марок). Так як потужність, потрібна на привод робочих органів, практично прямо пропорційна частоті обертання шнека, то часто доводиться знижувати частоту обертання шнека з 35 до 29 хв⁻¹. Однак, при такій частоті обертання наявний шнек з перпендикулярним розміщенням витка до осі обертання не самоочищається від кормової суміші в кінці вивантаження. Самоочищення витків шнека при низькій частоті їх обертання може бути забезпечено в разі, якщо витки розташовані не перпендикулярно, а похило до осі шнека. Тому нами були проведені аналітичні дослідження для визначення залежності кута нахилу витка в залежності від частоти обертання шнека.

Результати і обговорення. В якості гіпотези було прийнято, що нахил утворюючої витка шнека щодо горизонталі дозволить інтенсифікувати процес сходу кормової маси з витків шнека.

Розрахунок проведемо на прикладі частки, розташованої на витку шнека. Граничною умовою процесу очищення шнека приймемо

момент початку руху частки, коли її швидкість $V=0$ і дотримується рівновага сил, що намагаються зрушити частку, і сил, що утримують її на поверхні витка шнека. Прикладемо до частки сили, які діють на неї і розглянемо її рівновагу в Декартовій системі координат (рис. 1).

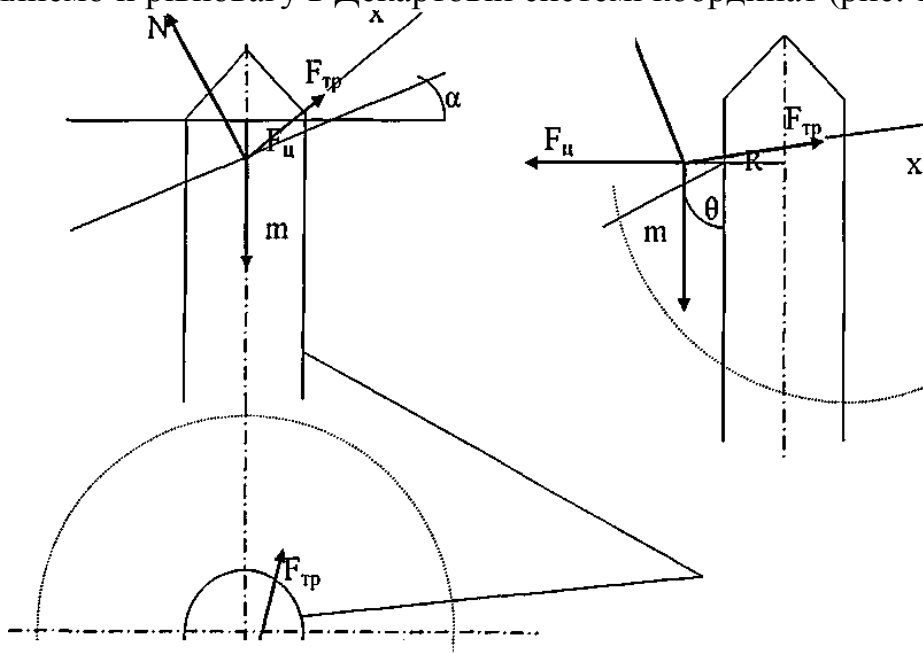


Рис. 1. До визначення умов самоочищення шнека

На частку діють наступні сили:

– сила тяжіння

$$F_{\text{тяж}} = m_{\text{ч}} g, \quad (1)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса частки кормової суміші, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

– відцентрова сила

$$F_{\text{ц}} = m_{\text{ч}} R \omega^2, \quad (2)$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с^{-1} ;

– сила реакції опори – N ;

– сила тертя

$$F_{\text{т}} = fN, \quad (3)$$

де f – коефіцієнт тертя частки кормової суміші по витку шнека.

Для знаходження реакції опори N розглянемо діючі сили в системі координат, утвореній векторами сили опори і тертя. Вісь X співпадає з силою тертя $F_{\text{т}}$, вісь Y з силою реакції опори N .

Спочатку розглянемо вектори діючих сил на вісь Y і знайдемо силу реакції опори N :

$$\begin{aligned}
 N + F_y \sin \theta \cos \alpha - mg \cos \alpha \cos \theta &= 0; \\
 N &= mg \cos \alpha \cos \theta - F_y \sin \theta \cos \alpha; \\
 N &= m \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha),
 \end{aligned} \tag{4}$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с^{-1} ;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.;

θ – кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі, град.;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Розглянемо вектори діючих сил на вісь X :

$$F_m - mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha = 0. \tag{5}$$

Зважаючи на те, що сила тертя

$$F_m = fN,$$

де f – коефіцієнт тертя, а відцентрова сила

$$F_y = mR\omega^2$$

та підставивши значення N з рівняння (4), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 fN - mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha &= 0; \\
 fm \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha) &= mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha + \\
 + m\omega^2 R \cos \theta \sin \alpha; \\
 f \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha) &= \sin \alpha (g \sin \theta + \omega^2 R \cos \theta); \\
 fg \cos \theta - f\omega^2 R \sin \alpha &= g \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha + \omega^2 R \cos \theta \operatorname{tg} \alpha; \\
 \omega^2 R \cos \theta \operatorname{tg} \alpha + f\omega^2 R \sin \alpha &= g(f \cos \theta - \sin \theta \operatorname{tg} \alpha); \\
 \omega^2 R &= \frac{g(f \cos \theta - \sin \theta \operatorname{tg} \alpha)}{\cos \theta \operatorname{tg} \alpha + f \sin \theta}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Розділивши чисельник і знаменник останнього виразу на $\cos \theta$ отримаємо:

$$\omega^2 R = \frac{g(f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha + f \operatorname{tg} \theta}. \tag{7}$$

Звідси визначаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{g(f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha)}{R(\operatorname{tg} \alpha + f \operatorname{tg} \theta)}}. \tag{8}$$

Кут α не має постійного значення і зв'язаний з відстанню до центра обертання шнека наступним виразом

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{2\pi R}, \quad (9)$$

де S – крок навивки шнека, м.

Тоді, підставивши (9) у формулу (8), отримаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi g f - \frac{S}{R} \operatorname{tg} \theta}{S + 2\pi f \operatorname{tg} \theta}}. \quad (10)$$

Із формули (6) маємо також можливість визначити залежність кута нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі θ від інших параметрів:

$$\begin{aligned} \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha + \omega^2 R \operatorname{tg} \theta &= g f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha; \\ \operatorname{tg} \theta (\omega^2 R f + g \operatorname{tg} \alpha) &= g f - \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha; \\ \theta &= \operatorname{arctg} \left(\frac{g f - \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha}{\omega^2 R f + g \operatorname{tg} \alpha} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Підставивши (11) у формулу (9) остаточно отримаємо:

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{2\pi R g f - \omega^2 S R}{2\pi f \omega^2 R^2 + g S} \right). \quad (12)$$

Отже, кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі буде залежати від співвідношення коефіцієнта тертя кормової суміші по витку шнека, кроку навивки шнека і кутової швидкості обертання шнека. При виконанні умов формули (12) турбошнек міксера буде самоочищуватись при мінімально допустимих оборотах.

Важливим елементом технологічного процесу роздавання кормів тваринам є дотримання заданої норми їх видачі. Одним із способів забезпечення дозованої видачі кормів можна вважати правильний вибір площі вивантажувального вікна.

Під час роздавання корм, досягнувши вивантажувального вікна, потрапляє в годівницю або кормовий стіл. У загальному вигляді площа вивантажувального вікна можна визначити за формулою:

$$S_v = \frac{Q_{\max}}{V_k \rho_k}, \quad (10)$$

де Q_{\max} – задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі, кг/с;

V_k – швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна, м/с;

ρ_k – щільність кормової суміші, кг/м³.

Задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі визначається за формулою:

$$Q_{\max} = \frac{V_p m_k}{l_p}, \quad (11)$$

де V_p – швидкість руху кормороздавача при роздаванні кормової суміші, м/с;

m_k – маса кормової суміші, що згодовується в розрахунку на одну голову, кг/гол.;

l_p – довжина фронту годування однієї тварини, м/гол.

Швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна визначається за формулою:

$$V_k = l_q \omega, \quad (12)$$

де l_q – відстань від частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, s^{-1} .

У формулі (12) невідомою величиною являється відстань l_q . Для її визначення розглянемо сили, які діють на частку корму в момент, коли вона виходить з площини вивантажувального вікна.

На частку діють сили:

– сила тяжіння – $F_{тяж} = m_q g$;

– сила тертя по витку шнека – $F_m = f m_q g$;

– відцентрова сила – $F_c = m_q l_q \omega^2$;

– коріолісова сила,

$$F_{\text{кор}} = 2m_q \omega \frac{dl_q}{dt_q}, \quad (13)$$

де $\frac{dl_q}{dt_q}$ – швидкість переміщення частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м/с.

Із врахуванням перерахованих сил отримаємо диференціальне рівняння відносного руху частинки корму:

$$-m_q \frac{d^2 l_q}{dt_q^2} + m_q \omega^2 l_q - f m_q g - f \left(2m_q \omega \frac{dl_q}{dt_q} + f m_q g \right) = 0. \quad (14)$$

Після перетворень рівняння (14) прийме наступний вид:

$$\frac{d^2 l_q}{dt_q^2} - \omega^2 l_q + 2f\omega \frac{dl_q}{dt_q} = fg. \quad (15)$$

Отриманий вираз являється повним диференціальним рівнянням другого порядку. Повне рішення такого рівняння є сума загального лінійного і приватного рівнянь.

Загальне рішення неповного диференційного рівняння матиме

наступний вид:

$$l_{y1} = C_1 e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + C_2 e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y}, \quad (16)$$

де C_1, C_2 – похідні постійної інтегрування.

Приватне рішення рівняння (15) знаходимо при умові, що $l_{y2} = C$. Звідси $\frac{d^2 l_{y2}}{dt_y^2} = 0$ і $\frac{dl_{y2}}{dt_y} = 0$. Тоді формула (15) матиме вигляд:

$$-\omega^2 C = fg. \quad (17)$$

Звідси

$$C = -\frac{f \cdot g}{\omega^2}. \quad (18)$$

Тоді рішення рівняння (14) матиме такий вигляд:

$$l_y = l_{y1} + l_{y2} = C_1 e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + C_2 e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} - \frac{fg}{\omega^2}. \quad (19)$$

При початкових умовах, коли $t_y = 0$, $\frac{dl_y}{dt_y} = 0$, $l_y = 0$, отримуємо:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{fg}{\omega^2} \left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \right), \\ C_2 &= fg \frac{(f + \sqrt{f^2 + 1})}{2\omega^2 \sqrt{f^2 + 1}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Підставивши отримані значення C_1 і C_2 у формулу (19) маємо:

$$l_y = \frac{fg}{\omega^2} \left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} \right) - 1 \right]. \quad (21)$$

Отримане значення l_y підставляємо в формулу (10):

$$S_e = \frac{V_p m_k}{l_p \rho_k \omega \frac{fg}{\omega^2} \left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} \right) - 1 \right]}. \quad (22)$$

З отриманого виразу видно, що площа вивантажувального вікна кормороздавача-змішувача буде залежати від коефіцієнта тертя та щільності кормової суміші, довжини фронту годування, швидкості руху кормороздавача при роздаванні і кутової швидкості обертання шнека.

Висновки. Отримані аналітичним шляхом розрахунки дозволяють оптимізувати конструктивні параметри кормороздавача-

змішувача з вертикальним бункером.

Література:

1. *Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І.* Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2009. 731 с.
2. *Пивовар В. С., Гнатюк Г. П.* Нові технології приготування та роздавання кормосумішей на фермах великої рогатої худоби // Мясное дело. 2008. № 1. С. 66-69.
3. *Макарцев Н. Г.* Кормление сельскохозяйственных животных. Калуга: Издательство научной литературы, 2007. 608 с.
4. *Костенко Д., Заболотько О., Хмельовський В.* Кормові суміші – перспективний напрям годівлі великої рогатої худоби // Пропозиція. 2008. № 4. С. 134-136.
5. *Палкин Г. С.* Технология и техника кормления высокопродуктивных коров // Техника и оборудование для села. 2007. № 5. С. 36-38.
6. *Ревенко І., Лісовенко Т., Хмельовський В.* Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі // Пропозиція. 2008. № 9. С. 106-114.
7. *Геремезов Д., Шейченко В.* Применение кормораздатчиков-смесителей – залог повышения продуктивности крупного рогатого скота // Техніка АПК. 2006. № 4. С. 16-18.
8. Фермський комбайн – універсальний технічний засіб / В. Смоляр та ін. // Техніка АПК. 2007. № 10. С. 20-21.
9. Роздавачі кормів для рогатої худоби / І. І. Ревенко та ін. Київ: ВПВ УкрІНТЕІ, 2009. 200 с.
10. *Палкин Г. С.* Сучасні мобільні кормороздавачі-змішувачі для годівлі худоби кормосумішками // Пропозиція. 2004. № 4. С. 88-91.
11. *Дереза О. О., Дереза С. В.* Основні напрямки удосконалення конструкцій змішувачів-кормороздавачів // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 2, т. 2. С. 20-27.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЯ-КОРМОРАЗДАТЧИКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ БУНКЕРОМ

Дереза Е. А., Болтянский Б. В., Дереза С. В.

Анотація – сільськогосподарське виробництво є пріоритетною галуззю економіки України. Проблеми виведення економіки з кризи, в якій вона опинилася в останнє час, є дуже актуальними і для сільського господарства.

Неотъемлемой частью и одной из важнейших составных частей сельского хозяйства является животноводство. В настоящее время животноводство в связи с некоторыми объективными и субъективными причинами переживает свои не лучшие времена. поголовье животных и птицы во всех регионах Украины значительно сократилось, производительность их очень низкая. Производство продукции животноводства стало убыточным и не рентабельным. Повысить рентабельность животноводства можно за счет снижения затрат на содержание животных и повышение их производительности путем улучшения кормления, сбалансированности рационов, надлежащей подготовки кормов перед скармливанием, нормированной выдачи кормов животным. Максимальное снижение удельных затрат кормов можно обеспечить прежде всего на основе механизации кормоприготовления сбалансированных кормовых смесей и их нормированной выдачи. Традиционная технология приготовления и раздачи кормов на фермах КРС в нашей стране базировалась на применении универсальных погрузчиков, тракторных прицепов, кормоцехов КОРК-15 и КЦК-5, раздатчиков КТУ-10А и РММ-Ф-6. Эта технология энерго-, металло-, трудоемкая и не обеспечивает в условиях Украины средних надоев прибыльного молока и конкурентных на рынке сбыта продуктов переработки молока. Анализ систем приготовления и раздачи кормов в зарубежных странах с развитым молочным скотоводством свидетельствует, что там применяются мало компонентные кормосмеси, а для их приготовления и раздачи – преимущественно универсальные комбинированные машины, которые обеспечивают погрузку, измельчение, дозирование, смешивание, транспортировку и раздачу кормов. За рубежом такие машины получили название «миксер». На данный момент наибольшее распространение нашли миксеры с вертикальным размещением смесительных рабочих органов – шнеков. В статье рассмотрены условия самоочистки шнеков от кормовой смеси и определены основные факторы для правильного выбора площади выгрузного окна.

DETERMINATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS MIXER-FEEDER WITH VERTICAL BUNKER

O. Dereza, B. Boltianskyi, S. Dereza

Summary

Agricultural production is a priority sector of the economy of Ukraine. The problems of bringing the economy out of the crisis in which it has recently appeared are also very relevant for agriculture. Animal husbandry is an integral part and one of the most important components of agriculture. Currently, animal husbandry is experiencing its not the best times due to some objective and subjective reasons. The livestock of animals and poultry in all regions of Ukraine has significantly decreased, their performance is very low. Livestock production has become unprofitable and unprofitable. It is possible to increase the profitability of animal husbandry by reducing the cost of maintaining animals and increasing their productivity by improving feeding, balancing diets, proper preparation of feed before feeding, and normalized feed delivery to animals. The maximum reduction in the unit cost of feed can be ensured primarily on the basis of the mechanization of the feed preparation of balanced feed mixtures and their normalized delivery. The traditional technology of preparation and distribution of feed on cattle farms in our country was based on the use of universal loaders, tractor trailers, KORK-15 and KTSK-5 feed workshops, KTU-10A and RMM-F-6 distributors. This technology is energy-, metal-, labor-consuming and does not provide, in the conditions of Ukraine, average milk yield of profitable milk and competitive milk products on the market. Analysis of feed preparation and distribution systems in foreign countries with developed dairy cattle breeding indicates that they use little component feed mixtures, and for their preparation and distribution – mainly universal combined machines that provide loading, grinding, dosing, mixing, transportation and distribution of feed. Abroad, these machines are called "mixer". At the moment, the most widely found mixers with vertical placement of the mixing working bodies – screws. The article discusses the conditions for self-cleaning of augers from the feed mixture and identifies the main factors for the correct choice of the area of the discharge window.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА БІОДИЗЕЛІ

Журавель Д. П., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-25-85

Анотація – робота присвячена розробці моделі працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі.

Надійність техніки є однією з основних інженерних проблем, якій приділялася велика увага. Основні умови забезпечення надійності полягають в строгому виконанні правила «тріади надійності»: надійність закладається при проектуванні, забезпечується при виготовленні і підтримується при експлуатації. Останнім часом великої актуальності набувають питання моделювання і розрахунку показників надійності і безпеки виробничих об'єктів. У вирішенні цих завдань важливе місце займають методи структурного аналізу небезпеки і оцінка ризику складних технічних і організаційних систем.

Вимоги досягнення високої надійності часто знаходяться в протиріччі з іншими необхідними характеристиками, такими як зменшення розмірів, здобуття високої точності, низька вартість і так далі. Тому виникає питання, як оптимально вибрати необхідні кількісні характеристики для здобуття компромісного рішення.

Стосовно вибору параметрів, зміна яких визначає витрати в процесі експлуатації, за комплексні параметри, що характеризують технічний стан основних сполучень деталей дизелів і їх ресурс, пропонується використовувати потужність, питому витрату пального та витрату оливи на угар. Справді, ряд інших відомих параметрів, що характеризують технічний стан вузлів і агрегатів дизеля (наприклад, тиск мастила в головній масляній магістралі, тиск газів у картері або прорив газів у картер і ін.), тісно пов'язаний з перерахованими вище. Прорив газів у картер, наприклад, має визначальний вплив на потужність дизеля і питому витрату пального, а тиск мастила в головній

магістралі впливає на витрату оливи на угар. Крім того, через складність перерахування в грошовий еквівалент, використання цих параметрів викликає значних труднощів.

Ключові слова – моделювання, працездатність, машино-тракторний агрегат, біодизель, надійність, безвідмовність, ресурс.

Постановка проблеми. Оптимізація надійності системи визначається видом і складністю технічної системи, характером і важливістю виконуваних функцій, числом і видом можливих станів, тягарем наслідків відмов, а також стратегією її технічного обслуговування. Вирішення завдань оптимізації системи технічного обслуговування включає, як правило, побудову графа станів, складання моделі функціонування і визначення параметрів системи технічного обслуговування [1-3, 19, 20].

Аналіз останніх досліджень. Значний внесок у підвищення працездатності машино-тракторних агрегатів (МТА) при експлуатації на традиційних нафтових паливно-мастильних матеріалах належить багатьом вченим [1, 2, 7, 18-20]. Однак, роботи, які присвячені забезпеченню надійності машино-тракторних агрегатів на біодизельному пальному мають неоднозначний характер [4-6, 8-17, 21]. Тому в даній роботі розроблено математичну модель надійності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі та обґрунтовано встановлення основних факторів, які впливають на його працездатність.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Розробка математичної моделі та обґрунтування основних факторів, які впливають на працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі.

Основна частина. За комплексні параметри, що характеризують технічний стан дизеля і його деталей, найбільш доцільно використовувати потужність N , питому витрату пального G і витрату оливи на угар g .

Використовуючи теорію графів, можна оцінити працездатний стан МТА відповідно вимогам нормативно-технічної документації.

Щоб проаналізувати працездатність МТА, оцінюємо ймовірність досягнення параметрів N , G , g граничного значення.

Якщо відоме правило розмежування працездатних і непрацездатних станів, то можна визначити, в якому із цих станів знаходиться система.

Вихідними даними для розрахунку або прогнозування безвідмовності на стадії експлуатації служать зв'язки елементів в структурно-логічній схемі системи, залежні від впливу їх стану на стан системи в цілому і значення інтенсивності їх відмов (або

ймовірність відмов, або ймовірність працездатних станів).

Стан S_H характеризує працездатний стан МТА, при якому в момент часу t його параметри знаходяться в номінальних межах N_H, g_H, G_H . Ймовірність цього стану оцінюється за рівняння [21]:

$$P_{S_H} = e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} \quad (1)$$

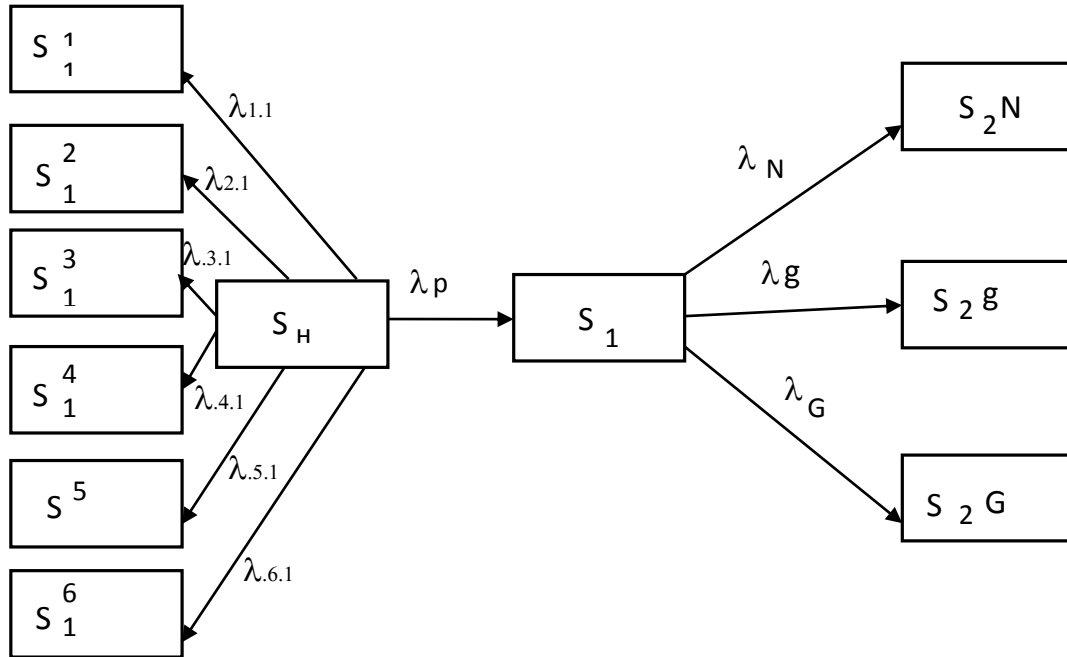


Рис. 1. Граф станів вихідних параметрів машино-тракторного агрегату: S_H, S_1^1, \dots, S_1^6 – стани МТА; $\lambda_p, \lambda_N, \lambda_g, \lambda_G, \lambda_{1.1}, \dots, \lambda_{6.1}$ – інтенсивності потоку подій

При S_1 стані, МТА працездатний, і параметри його знаходяться в допустимих межах $N_\partial, g_\partial, G_\partial$. Ймовірність цього стану оцінюється за рівнянням:

$$P_{S_1} = e^{-(\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} \quad (2)$$

Ця ймовірність формується можливими досягненнями граничного стану параметрів кожного із станів, коли останні два знаходяться в допустимому стані.

Ймовірність даних станів оцінюються за рівняннями 3, 4, 5:

$$P_{S_{2N}} = \lambda_N \left[-\frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} \right] + \frac{\lambda_p + \lambda_g + \lambda_G}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} \quad (3)$$

$$P_{S_2g} = \lambda_g \left[-\frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} \right] + \frac{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_G}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} \quad (4)$$

$$P_{S_2G} = \lambda_g \left[-\frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} e^{-(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G)t} \right] + \frac{\lambda_p + \lambda_N + g}{\lambda_p + \lambda_N + \lambda_g + \lambda_G} \quad (5)$$

Стани S_1^1 - S_1^6 характеризують перехід системи із працездатного стану S_H в непрацездатний минаючи стан S_1 .

При стані S_1^1 , ефективна потужність N знаходиться в граничних межах, а питома витрата оливи на угар g , і питома витрата пального G знаходяться в допустимих межах (6), при стані S_1^2 , ефективна потужність N , і питома витрата оливи на угар g знаходиться в граничних межах, а питома витрата пального G знаходяться в допустимих межах (7), при стані S_1^3 , ефективна потужність N знаходиться в допустимих межах, а питома витрата оливи на угар g , і питома витрата пального G знаходяться в граничних межах (8), при стані S_1^4 , ефективна потужність N і питома витрата оливи на угар g знаходяться в допустимих межах, а питома витрата пального G , знаходиться в граничних межах (9), при стані S_1^5 , питома витрата оливи на угар g знаходиться в граничних межах, а ефективна потужність N , і питома витрата пального G знаходяться в допустимих межах (10), при стані S_1^6 , питома витрата оливи на угар g знаходиться в допустимих межах, а ефективна потужність N , і питома витрата пального G знаходяться в граничних межах (11).

$$P_{S_1^1} = \lambda_{1.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{1.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} \quad (6)$$

$$P_{S_1^2} = \lambda_{2.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} \quad (7)$$

$$P_{S_1^3} = \lambda_{3.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{3.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}}$$

$$\frac{\lambda_{3.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}}. \quad (8)$$

$$P_{S_1^4} = \lambda_{4.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{4.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}}. \quad (9)$$

$$P_{S_1^5} = \lambda_{5.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{5.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}}. \quad (10)$$

$$P_{S_1^6} = \lambda_{6.1} \left[-\frac{1}{\lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_{1.1} + \dots + \lambda_{6.1})t} + \frac{1}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}} e^{-(\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1})t} \right] + \frac{\lambda_{6.1}}{\lambda_p + \lambda_{1.1} + \lambda_{2.1} + \lambda_{3.1} + \lambda_{4.1} + \lambda_{5.1} + \lambda_{6.1}}. \quad (11)$$

Рівняння (6) – (11) характеризують ймовірність відмови МТА при досягненні одного з параметрів N , G , g значень, які не відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

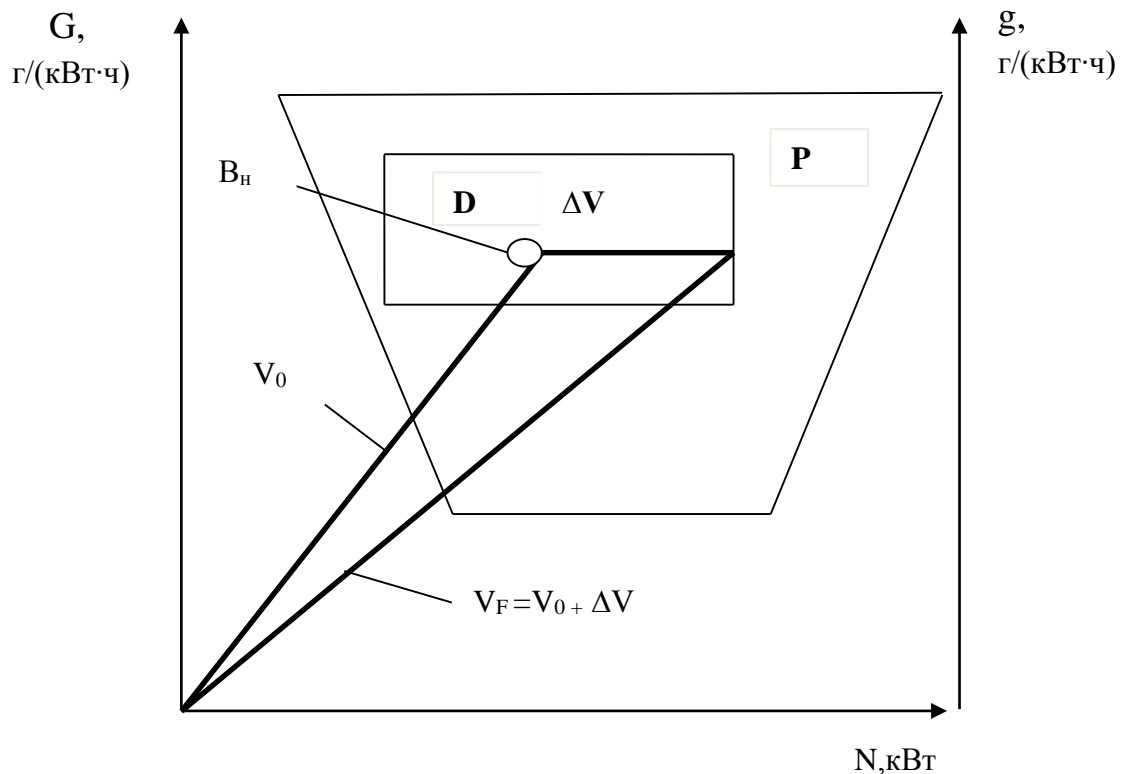
Виходячи з цього ймовірність працездатного стану МТА визначається залежністю:

$$P(t) = 1 - (P_{S_{2N}} + P_{S_{2g}} + P_{S_{2G}} + P_{S_1^1} + P_{S_1^2} + P_{S_1^3} + P_{S_1^4} + P_{S_1^5} + P_{S_1^6}) \quad (12)$$

В результаті проведення досліджень, нами встановлено, що ймовірність працездатного стану МТА при експлуатації на мінеральному пальному становить $P(t) = 0,87 \dots 0,90$, а на біодизелі

$$P(t) = 0,78 \dots 0,82.$$

Модель працездатного стану МТА передбачає оцінку його функціонування в одній із трьох областей (рис. 2): область функціонування, в якій МТА працює відповідно до призначення (виконуються вимоги по експлуатаційно-технологічним показникам) «F»; область працездатності, в якій МТА працює з виконанням функцій з параметрами N , G і g , які відповідають вимогам нормативно-технічної документації «P»; допустима область, в якій МТА працює з виконанням функцій при допустимому значенні параметрів N , G і g , «D», наприклад підвищена витрата оливи на угар, витрата пального і т.д. при роботі на біодизелі.



(V_0 – номінальний вектор, ΔV – вектор допусків)

Рис. 2. Просторове співвідношення допустимої області «D» і області працездатності «P» при функціонуванні МТА із заданим запасом працездатності трьох змінних функціональних параметрів N , G і g .

Кожна точка простору «P» характеризує певний стан МТА в даний момент часу і описується певним поєднанням значень кожного з функціональних параметрів (Y), збурюючих впливів і т.д., при якому виконується умова працездатності МТА, тобто $Y_H < Y < Y_B$. Сукупність номінальних значень функціональних параметрів МТА визначає положення номінальної робочої точки (B_H). Вихід робочої точки за межі «P» призводить до втрати працездатності МТА.

Особливо це стосується біодизелю, він значно відрізняється від нафтового своїми фізико-хімічними властивостями, які впливають як на організацію робочого процесу, так і на екологічні та техніко-економічні показники сільськогосподарської техніки (СГТ), призводячи до збільшення відмов вузлів і агрегатів функціональних систем. Причиною існування проблеми є також те, конструкційні матеріали, які застосовують для виготовлення деталей вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ, не призначені до роботи в середовищі біодизеля. Шляхами вирішення вказаної проблеми є адаптація вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ до роботи в

середовищі біодизеля шляхом виявлення та усунення «слабкої ланки».

В результаті проведення досліджень МТА на біодизелі встановлено, що «слабкою ланкою» серед основних функціональних систем є дизельний двигун.

Фактичні ресурси елементів дизельного двигуна при роботі на мінеральних паливно-мастильних матеріалах (МПММ) і біологічних (БПММ) наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактичні ресурси елементів дизельного двигуна при роботі на різних видах ПММ

Найменування елементів дизельного двигуна	Фактичний ресурс, мото-год.			
	$\gamma - 80\%$		Середній	
	МПММ	БПММ	МПММ	БПММ
Кривошипно-шатунний механізм	8470	6825	12100	5750
Система змащення	7210	5785	10300	8250
Паливна система	8540	5460	12200	7800
Електрообладнання	7250	6300	10500	9000
Система запуску	7910	6580	11300	9400
Газорозподільний механізм	10500	9100	15700	13000

Із таблиці 1 слідує, що «слабкою ланкою» дизельного двигуна при експлуатації на БПММ є паливна система.

Розподіл відказів по окремим вузлам паливної апаратури наступні: в двигунах Д-240 біля 60% приходить на форсунки, 20% на фільтри і 20% на порушення параметрів регулювання. В двигунах СМД-60 – майже половина відказів приходить на паливну апаратуру, 9-17% на форсунки, 14-31% на фільтри і до 17% на порушення параметрів регулювання. В насосах розподільного типу 28% дефектів приходить на знос і заїдання плунжерних пар, 15% – на заїдання і поломку приводу дозатора, біля 40% приходить на фільтр, а решта на порушення регулювань [21].

Висновок. Таким чином, можна зробити висновок, що найбільш раціональним способом підвищення ефективної потужності МТА і ресурсу двигуна можна добитися декількома способами: збільшенням твердості пар тертя (за рахунок використання матеріалів, які інертні до середовища біодизеля); покращенням якості фільтрації пального; покращенням змащувальних властивостей пального.

Література:

1. Анилович В. Я., Гринченко А. С., Литвиненко В. Л. Прогнозирование надежности тракторов / под ред. В. Я. Аниловича. Москва: Машиностроение, 1986. 224 с.

2. Антонов А. В., Никулин М. С. Статистические модели в теории надежности: учебное пособие. Москва: Абрис, 2012. 390 с.

3. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Задачи и упражнения по теории вероятностей: учебное пособие. Москва: Наука, 1969. 368 с.

4. *Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В.* Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення з використанням біологічного палива // *Техніка і технології АПК.* 2010. № 1. С. 13-18.

5. *Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В.* Собівартість виробництва біодизеля на базі метилових ефірів жирних кислот рослинних олів // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка.* 2010. Вип. 94. С. 270-277.

6. *Войтов В. А., Карнаух М. В., Даценко М. С.* Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля // *Техніка і технології АПК.* 2009. № 1. С. 13-17.

7. *Войтюк В. Д.* Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки: дис... докт. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2012. 448 с.

8. Влияние износа плунжерных пар топливных насосов высокого давления на их гидравлическую плотность / *В. А. Дидур* и др. // *Известия Международной академии аграрного образования.* 2013. Вып. 18. С. 39-43.

9. *Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Харьков: Новое слово, 2007. 452 с.

10. *Журавель Д. П.* Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів // *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів.* 2016. Вип. 10/3(31). С. 66-71.

11. *Журавель Д. П.* Методология обеспечения надежности мобильной техники при использовании биологических ТСМ // *Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України : матер. VI Міжнар. наук.-техн. конф. Мелітополь, 2015. С. 8-10.*

12. *Журавель Д. П.* Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів // *Сучасні проблеми землеробської механіки : зб. тез доп. XVII міжнар. наук. конф. Суми, 2016. С. 163-164.*

13. *Журавель Д. П.* Підвищення ефективності експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки при використанні біопаливо-мастильних матеріалів // *Раціональне використання енергії в техніці.*

TechEnergy 2017: зб. тез доп. XIII Міжнар. наук. конф. Київ, 2017. С. 155-156.

14. *Журавель Д. П.* Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2017. Вип. 5. С. 56-65.

15. *Журавель Д. П., Юдовинський В. Б.* Триботехнічні властивості олій біологічного походження // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 4. С. 160-166.

16. *Журавель Д. П., Юдовинський В. Б., Мітков Б. В.* Дослідження впливу присадок на експлуатаційні властивості олій // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2012. Вип. 2, т. 4. С. 203-209. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvt dau_2012_2_4_33 (дата звернення: 07.08.2019).

17. *Журавель Д. П.* Особливості використання олій біологічного походження для мобільної техніки // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Мелітополь, 2014. Вип. 2. С. 157-165.

18. *Молодик М. В.* Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.

19. *Червоный А. А., Лукьященко В. И., Котин Л. В.* Надежность сложных систем. Москва: Машиностроение, 1976. 288 с.

20. *Черепанов С. С.* Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. Москва: Колос, 1978. 287 с.

21. *Шуляк М. Л.* Підвищення ефективності машинно-тракторних агрегатів з використанням біодизельних палив: дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2012. 165 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА БИОДИЗЕЛЕ

Журавель Д. П.

Аннотация – работа посвящена разработке модели работоспособности машинно-тракторного агрегата при эксплуатации на биодизеле.

Надежность техники является одной из основных инженерных проблем, которой уделялось большое внимание. Основные условия обеспечения надежности заключаются в строгом выполнении правила «триады надежности»: надежность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и поддерживается при эксплуатации. В последнее время все большую актуальность приобретают вопросы моделирования и расчета показателей надежности и безопасности производственных объектов. В решении этих задач важное место занимают методы структурного анализа опасности и оценка риска сложных технических и организационных систем.

Требования достижения высокой надежности часто находятся в противоречии с другими необходимыми характеристиками, такими как уменьшение размеров, получение высокой точности, низкая стоимость и так далее. Поэтому возникает вопрос, как оптимально выбрать необходимые количественные характеристики для получения компромиссного решения.

По выбору параметров, изменение которых определяет расходы в процессе эксплуатации, за комплексные параметры, характеризующие техническое состояние основных сочетаний деталей дизелей и их ресурс, предлагается использовать мощность, удельный расход топлива и расход масла на угар. Действительно, ряд других известных параметров, характеризующих техническое состояние узлов и агрегатов дизеля (например, давление масла в главной масляной магистрали, давление газов в картере или прорыв газов в картер и др.), тесно связан с перечисленными выше. Прорыв газов в картер, например, имеет определяющее влияние на мощность дизеля и удельный расход топлива, а давление масла в главной магистрали влияет на расход масла на угар. Кроме того, из-за сложности перечисления в денежный эквивалент, использование этих параметров вызывает значительные трудности.

MODELING OF EMPLOYMENT MACHINE TRACTOR UNIT AT BIODYSELY OPERATION

D. Zhuravel

Summary

The work is devoted to the development of the model of performance of machine-tractor unit during operation on biodiesel.

Reliability of the technology is one of the main engineering problems, which was given a lot of attention. The main conditions for ensuring reliability are the strict implementation of the rules of the "triad of reliability": the reliability is laid in the design, provided during manufacture and maintained during operation. Recently, all of great relevance become issues of modeling and calculating indicators of reliability and safety of industrial facilities. In solving these problems, the methods of structural analysis of risk and the risk assessment of complex technical and organizational systems occupy an important place.

The requirements for achieving high reliability are often in contradiction with other required characteristics, such as diminishing size, high accuracy, low cost, and so on. Therefore, the question is how to choose the necessary quantitative characteristics optimally for a compromise solution.

Regarding the choice of parameters, which changes the costs in the course of operation, for the complex parameters characterizing the technical state of the main combinations of parts of the diesel engines and their resource, it is proposed to use the power, specific fuel consumption and the consumption of fuel for burning. In fact, a number of other well-known parameters characterizing the technical state of the combustion of a diesel engine (for example, the oil pressure in the main oil line, the pressure of the gases in the crankcase, or the breakdown of gases into the crankcase, etc.) is closely linked with the above. The breakthrough of gases into the crankcase, for example, has a decisive influence on the power of the diesel engine and the specific fuel consumption, and the oil pressure in the main line affects the consumption of oil for burning. In addition, due to the complexity of transferring to cash equivalents, the use of these parameters causes considerable difficulties.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО
СОШНИКА ДЛЯ СТРІЧКОВОГО ПОСІВУ
ЗЕРНОВИХ ТА ВНЕСЕННЯ ПОВНИХ ДОЗ
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ**

Сербій В. К., к. т. н.,

ННЦ «ІМЕСГ»

Михайленко О. Ю., інж.,

Антонова Г. В., інж.,

Чаплінський А. П., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – на підставі аналітичного огляду конструкцій робочих органів для одночасного обробітку ґрунту, висіву насіння, внесення стартових та основних добрив обґрунтовано перспективну схему і комбінацію робочих органів, сформульовані загальні вимоги до їх роботи при виконанні сучасних технологій «Mini-Drill» та «Strip-Drill». Отримано залежності з визначення швидкості руху насіння по розподільнику сошника і необхідної висоти його розміщення відносно поверхні ґрунту для забезпечення виконання агротехнологічних умов.

Ключові слова – сошник, комбінована операція, посів, внесення добрив, посівний комплекс, методика.

Вступ. Вирішальною умовою низькозатратного виробництва продукції в рослинництві є використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів високої адаптивності, що забезпечують найбільш сприятливі умови розвитку насіння і рослин при заощадливих впливах. Останнє досягається мінімальною обробкою ґрунту, суміщенням операцій і скороченням числа проходів, за умови застосування достатнього для конкретних умов набору робочих органів. Перехід від інтенсивного, багатоопераційного обробітку ґрунту до маловитратного, комбінованого з посівом і внутрішньоґрунтового внесення добрив, відповідає світовим тенденціям розвитку рослинництва [1-3].

Нижче наводиться структурна схема функціонування ґрунтообробно-удобрювально-посівного агрегату (рис. 1).

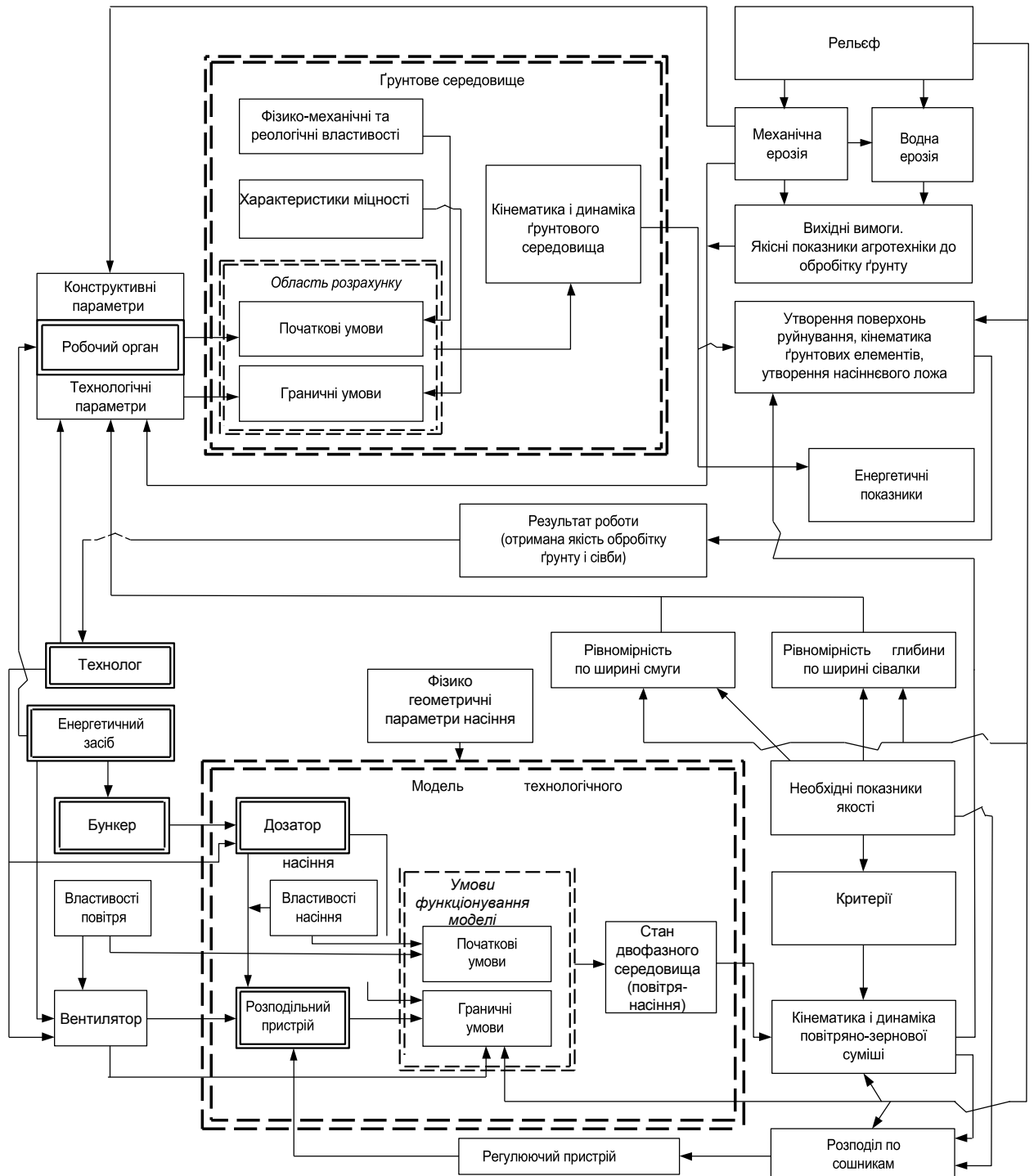


Рис. 1. Структурна схема функціонування ґрунтообробно-удобрювально-посівного агрегату

Всі структурні зв'язки функціонування ґрунтообробно-посівної машини представляють собою алгоритм реалізації моделі технологічного процесу обробітку ґрунту, внесення добрив і посіву насіння.

З метою комплексного вирішення проблем обробітку ґрунту, внутрішньоґрунтового внесення добрив і посіву, необхідно розробити

математичну модель для вирішення проблеми забезпечення взаємокоординованого високоточного розміщення насіння і повних доз мінеральних добрив.

Результати досліджень. Сошник є одним з основних робочих органів будь-якої посівної машини, що безпосередньо бере участь у процесі борозноутворення і розподілу насіннєвого матеріалу в ґрунті. Вибір тієї чи іншої конструкції сошника істотно впливає на якість посіву, а в кінцевому рахунку, на отримання високих і сталих врожаїв [4].

Сошники, які застосовуються в даний час на сівалках, можна класифікувати: за принципом дії і за технологічним принципом.

За принципом дії, сошники можна розділити на дві групи: поступального руху (наральникові) і обертального руху (дискові) [5].

За технологічним принципом, сошники поділяють на три групи: сошники з тупим, прямим і гострим кутом входження в ґрунт.

Основний недолік сошників кілевидного типу полягає в необхідності ретельної підготовки ґрунту перед посівом для забезпечення рівномірності ходу робочих органів. Переваги всіх дискових сошників полягають у вільному їх проникненні крізь рослинні залишки, відсутності ущільнення ґрунту як біля основи, так і з боків посівної борозни. Однак, слід звернути увагу на те, що односторонні сошники працюють несиметрично, вони постійно відчують односторонній тиск [6].

У трубчастого сошника, як стверджують багато дослідників, рівномірність глибини ходу нижче, ніж у дискових.

Анкерний тип сошника ефективно працює на полях, оброблюваних відповідно до традиційної та ресурсозберігаючої технологій, що забезпечується високою стійкістю сошника і характерним кутом входження в ґрунт.

Застосування комбінованих лапових сошників на посівних машинах дає можливість здійснення роздільного внесення добрив і насіння, що дозволяє проводити посів за традиційною, мінімальною і нульовою технологіями, поліпшити рівномірність забезпечення рослин живленням і вологою, скоротити терміни посівної кампанії і витрати праці.

Розглянемо процес утворення борозни для міндобрив, насіннєвого ложе і розподілу технологічного матеріалу в ґрунті.

Сошник повинен забезпечувати стрічковий посів зернових культур одночасно з стартовою дозою міндобрив на глибину 20-40 мм (рис. 3) з шириною рядку в стрічці 50-60 мм (рис. 2) та відстанню між рядками однієї стрічки 70-80 мм. В міжрядному просторі стрічки на глибину 30-50 мм нижче від рівня розташування насіння закладається основна доза міндобрив.

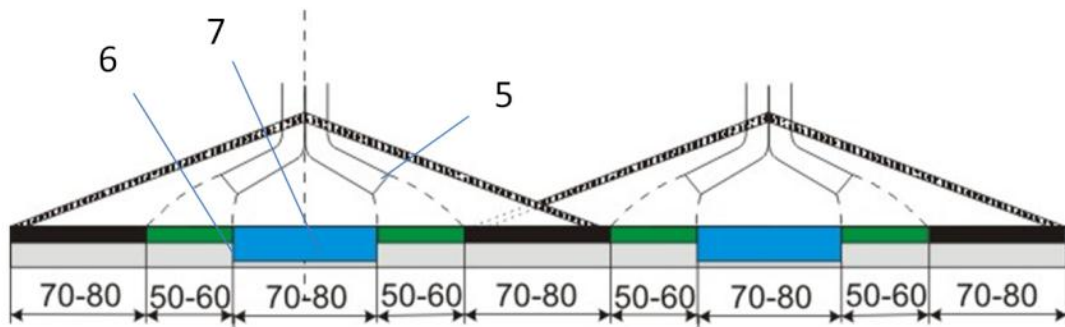


Рис. 2. Схема смугового способу посіву

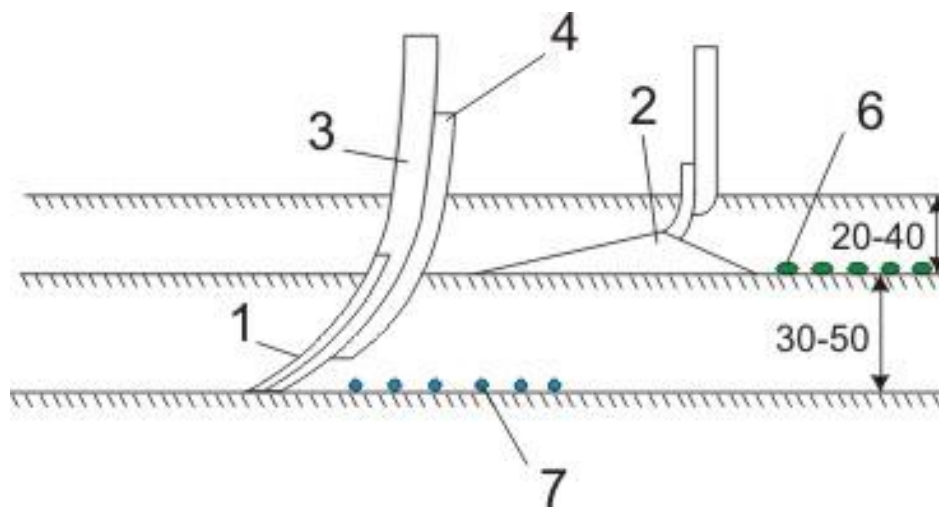


Рис. 3. Технологічний процес різноглибинного внесення добрив та сівби насіння: 1 – долото; 2 – лапа; 3 – стійка; 4 – розподільник добрив; 5 – розподільник насіння; 6 – насіння; 7 – добрива

Аналітично дослідимо насіннепровід комбінованого сошника, який складається з 3-х зон: 1 – зона роздвоєння потоку та відцентрового руху насіння; 2 – зона вільного скату насіння; 3 – зона вільного падіння насіння (рис. 4).

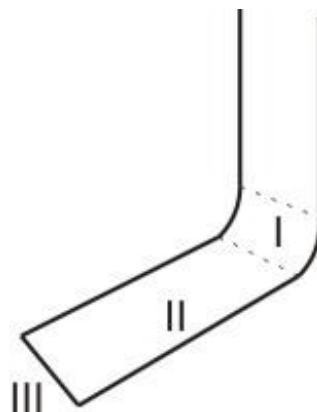


Рис. 4 – Схема насіння-тукопроводу сошника

Розглянемо рух насіння у першій зоні сошника (рис. 5).

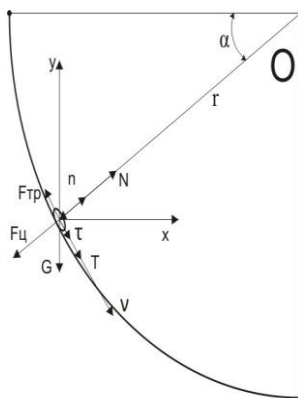


Рис. 5. Рух насіння по криволінійній ділянці першої зони насіннепроводу сошника

З 2-го закону динаміки

$$m \cdot \vec{a} = G + N + F_{\tau p} + F_{\text{ц}} \quad (1)$$

отримаємо:

$$\begin{cases} \tau: m \cdot a_{\tau} = G \cdot \cos(\alpha) - F_{\tau p} \\ n: 0 = N - G \cdot \sin(\alpha) - F_{\text{ц}} \end{cases} \quad (2)$$

Запишемо рівняння (2) у диференціальній формі:

$$\begin{cases} m \cdot \frac{d\vartheta}{dt} = G \cdot \cos(\alpha) - F_{\tau p} \\ m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = N - G \cdot \sin(\alpha) \end{cases} \quad (3)$$

Після диференціювання рівняння (3) та проведення перетворень отримаємо:

$$\vartheta = \vartheta_0 + g \cdot t \cdot \cos(\alpha) - f \cdot t \cdot \left(\frac{\vartheta^2}{r} + g \cdot \sin(\alpha) \right) \quad (4)$$

Так як, $t = \frac{L}{\vartheta}$, $L = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{4} = \frac{\pi \cdot r}{2}$ звідки $t = \frac{\pi \cdot r}{2 \cdot \vartheta}$.

Отримаємо остаточний вигляд рівняння швидкості насіння по першій зоні насіннепроводу:

$$u := \frac{u_0 + \sqrt{u_0^2 + 2 \cdot \pi \cdot g \cdot r \cdot \cos(\alpha) + \pi^2 \cdot f \cdot g \cdot r \cdot \cos(\alpha) - \pi^2 \cdot f^2 \cdot g \cdot r \cdot \sin(\alpha) - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot g \cdot r \cdot \sin(\alpha)}}{\pi \cdot f + 2} \quad (5)$$

Насіння вилітає з пневмотранспортуючої системи зі швидкістю $\vartheta_0 = 18 \dots 20$ м/с (по Кочіну).

Завдамо початкові умови $u_0 := 20$ м/с, $f := 0.5$, $r := 0.05$ м, $\alpha := 90 \frac{3.14}{180}$ рад, $g_{\text{вкл}} := 9.8$ м/с².

Після підстановки початкових даних у рівняння (5) отримаємо, що швидкість насіння на виході з першої зони становить $\vartheta = 11,2$ м/с. Розглянемо рух насіння у 2-й зоні насіннепроводу (рис. 6).

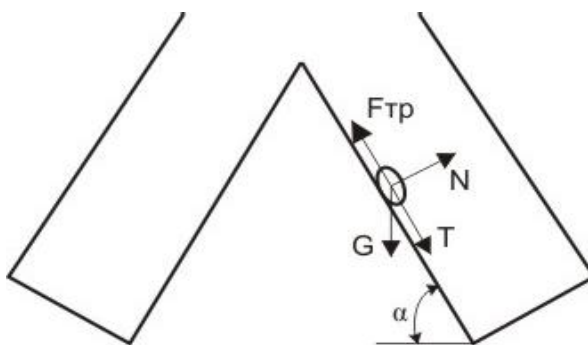


Рис. 6. Схема руху насіння по другій зоні насіннепроводу сошника

Запишемо рівняння руху насіння у природній формі:

$$m \cdot \ddot{x} = T - F_{\text{тр}} . \quad (6)$$

Проінтегрувавши диференційне рівняння

$$\int \frac{d\vartheta}{g} = \int (\sin(\alpha) - f \cdot \cos(\alpha)) dt , \quad (7)$$

отримаємо

$$\vartheta = \vartheta_0 + g \cdot t \cdot \sin(\alpha) - g \cdot t \cdot f \cdot \cos(\alpha) + C_1 . \quad (8)$$

Виразимо t через $\frac{L_p}{\vartheta}$.

Отримаємо закономірність зміни швидкості насіння в насіннепроводі сошнику для 2-ої зони

$$\vartheta = \frac{1}{2} \left(\vartheta_0 + \sqrt{\vartheta_0^2 + 4 \cdot g \cdot L_p \cdot \sin(\alpha) - 4 \cdot g \cdot L_p \cdot f \cdot \cos(\alpha)} \right) . \quad (9)$$

Завдамо початкові умови $\vartheta_0 := 11,2$ м/с, $f := 0,5$, $L_p = 0,05$ м, $\alpha :=$

$53 \frac{3.14}{180}$ рад, $g := 9.8$ м/с².

Після підстановки початкових даних у рівняння (9) отримаємо, що швидкість насіння на виході з другої зони становить $\vartheta = 11,22$ м/с.

Розглянемо переміщення насіння у 3-й зоні (рис. 7).

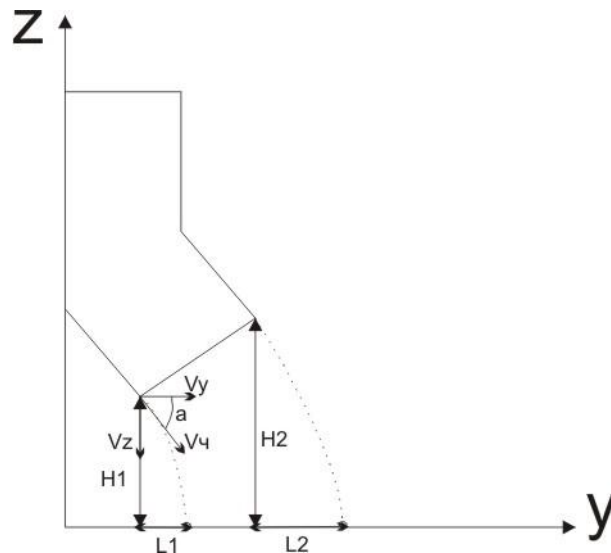


Рис. 7. Схема руху насіння по другій зоні насіннепроводу сошника

Складемо рівняння швидкості руху насіння у координатній формі

$$\begin{cases} \vartheta_y = \vartheta_{\text{ч}} \cdot \cos(\alpha) \\ \vartheta_z = \vartheta_{\text{ч}} \cdot \sin(\alpha) + g \cdot t \end{cases} \quad (10)$$

та диференціальній

$$\begin{cases} \dot{y} = \vartheta_{\text{ч}} \cdot \cos(\alpha) \\ \dot{z} = \vartheta_{\text{ч}} \cdot \sin(\alpha) + g \cdot t \end{cases} \quad (11)$$

Продиференціювавши систему рівнянь (11), отримаємо залежність зміни координат від часу:

$$y = \vartheta_{\text{ч}} \cdot t \cdot \cos(\alpha) + C_1 \quad (12)$$

$$z = \vartheta_{\text{ч}} \cdot t \cdot \sin(\alpha) + \frac{g \cdot t^2}{2} + C_2 \quad , \quad (13)$$

де константна інтегрування дорівнює $C_1 = y_0, C_2 = z_0$.

Знайдемо значення необхідної висоти розміщення вихідного кінця насіннепроводу $H1$, щоб ширина насінневого рядка дорівнювала 50 мм.

Для цього складемо систему рівнянь (14) та (15)

$$\begin{cases} L_1 = \vartheta_{\text{ч}} \cdot t_1 \cdot \cos(\alpha) \\ t_1 = \frac{\sqrt{V^2 \cdot \sin^2(\alpha) + 2 \cdot H \cdot g} - V \cdot \sin(\alpha)}{g} \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} L_2 = v_{\text{ч}} \cdot t_2 \cdot \sin(\alpha) + \frac{g \cdot t_2^2}{2} \\ t_2 = \frac{\sqrt{V^2 \cdot \sin(\alpha)^2 + 2 \cdot H \cdot g} + 2 \cdot Lv \cdot g \cdot \cos(\alpha) - V \cdot \sin(\alpha)}{g} \\ H_2 = L_B \cdot \cos(\alpha) + H_1 \end{cases} \quad (15)$$

Побудувавши з систем (14) та (15) умову (16) відповідності конструктивних параметрів сошника, що забезпечує виконання технологічних вимог, щодо ширини рядка в смузі 50 мм виразимо з останньої рівняння знаходження висоти розміщення вихідного кінця насіннепровода $H1$ (17).

$$\left[a - 0.05 = V \cdot \cos(\alpha) \cdot \left[\left(\frac{\sqrt{V^2 \cdot \sin(\alpha)^2 + 2 \cdot H \cdot g} - V \cdot \sin(\alpha)}{g} \right) - \left(\frac{\sqrt{V^2 \cdot \sin(\alpha)^2 + 2 \cdot H \cdot g} + 2 \cdot Lv \cdot g \cdot \cos(\alpha) - V \cdot \sin(\alpha)}{g} \right) \right] \right] \quad (16)$$

Звідки

$$H1 := \frac{2400.0a^{2.0} \cdot g^{2.0} + 160000.0a^{4.0} \cdot g^{2.0} - 80.0a \cdot g^{2.0} + g^{2.0} - 32000.0a^{3.0} \cdot g^{2.0} + 640000.0Lv^{2.0} \cdot V^{4.0} \cdot \cos(\alpha)^{6.0} - 1600.0V^{4.0} \cdot \cos(\alpha)^{2.0} \cdot \sin(\alpha)^{2.0} - 640000.0V^{4.0} \cdot a^{2.0} \cdot \cos(\alpha)^{2.0} \cdot \sin(\alpha)^2}{(3200.0V^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0} + 1.28e6V^{2.0} \cdot a^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0} - 128000.0V^{2.0} \cdot a \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0})^{1.0}} + \frac{640000.0V^{4.0} \cdot a \cdot \cos(\alpha)^{2.0} \cdot \sin(\alpha)^{2.0} - 1600.0Lv \cdot V^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{3.0} - 640000.0Lv \cdot V^{2.0} \cdot a^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{3.0} + 640000.0Lv \cdot V^{2.0} \cdot a \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{3.0}}{(3200.0V^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0} + 1.28e6V^{2.0} \cdot a^{2.0} \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0} - 128000.0V^{2.0} \cdot a \cdot g \cdot \cos(\alpha)^{2.0})^{1.0}} \quad (17)$$

Завдамо початкові умови $v_0 := 11,22$ м/с, $f := 0,5$, $\alpha := 53 \frac{3.14}{180}$ рад, $a=0,04$ м, $a := \sin(\alpha) \cdot Lv$, $g_{\text{ср}} := 9,8$ м/с².

Після підстановки початкових даних у рівняння (17) отримаємо, що висота розміщення вихідного кінця насіннепровода $H1$ повинна становити $H1 = 0.035$ м при встановлених вище початкових умовах.

Висновки.

1. На підставі аналітичного огляду конструкцій робочих органів для одночасного обробітку ґрунту, висіву насіння, внесення стартових та основних добрив обґрунтовано перспективну схему і комбінацію робочих органів, сформульовані загальні вимоги до їх роботи при виконанні сучасних технологій «Mini-Drill» та «Strip-Drill». Сошник у вигляді стрілчастої лапи з анкерним підживлюючим ножем повинен забезпечувати смуговий висів насіння зернових культур одночасно з внесенням стартової дози гранульованих міндобрив на глибину 20-40 мм двома смугами шириною 50-60 мм та відстанню між смугами 70-80 мм. Між смугами насіння і стартових добрив закладається вузькою стрічкою основна доза міндобрив, при цьому на 30-50 мм нижче від рівня розташування насіння (технологія «Mini-Drill»), або двома шарами, що глибше від насіння на 30-50 мм та на 150-200 мм (технологія «Strip-Drill»).

2. Визначено висоту розміщення висівного отвору комбінованого сошнику, яка становить 35 мм від рівня поверхні землі при діаметрі вихідного вікна 40 мм і куті між каналами розподільника 53° .

Література:

1. *Крючков М. М., Потапова Л. В., Лукьянова О. В.* Применение почвообрабатывающих и посевных комбинированных агрегатов в условиях Рязанской области: монография. Рязань, 2013. 158 с.

2. *Завора В. А., Выставкин С. Б.* К вопросу обоснования рационального варианта почвообрабатывающего посевного комплекса агропредприятия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 2. С. 66-69.

3. *Вильямс В. Р.* Основы земледелия: монография. Москва, 1948. 195 с.

4. *Горохов П. В.* Сопоставимость показаний твердомера // Земледелие. 1986. № 4. С. 41-47.

5. *Гусев В. М., Кузнецов Б. Ф., Бондаренко Ю. Н.* Сеялки для пропашных культур // Тракторы и сельхозмашины. 1985. № 3. С. 43-45.

6. *Гниломедов В. Г., Гужин И. Н.* Использование теории многофакторного планирования при разработке распределителя семян сошника для подпочвенного разбросного посева зерновых культур // Актуальные инженерные проблемы АПК в XXI веке: сб. науч. тр. инженерной секции Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию Самарской ГСХА. Самара, 2004. С. 203-206.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИК ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ И ВНЕСЕНИЯ ПОЛНОЙ ДОЗЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА

Сербий В. К., Михайленко Е. Ю., Антонова Г. В., Чаплинский А. П.

Аннотация – на основании аналитического обзора конструкций рабочих органов для одновременной обработки почвы, посева семян, внесения стартовых и основных удобрений обоснованно перспективную схему и комбинацию рабочих органов, сформулированы общие требования к их работе при выполнении современных технологий «Mini-Drill» и «Strip-Drill». Получены зависимости по определению скорости движения семян по распределителю сошника и необходимой высоты его

размещения относительно поверхности почвы для обеспечения выполнения агротехнологических условий.

**GROUNDING OF PARAMETERS OF COMBINED
OIL FOR RIBBED GRAIN AND INFLUENCE OF FULL DOSES
OF MINERAL DEFINITIONS IN THE
COMBINED COMPLEX**

V. Serbiy, O. Mykhailenko G. Antonova A. Chaplinskyi

Summary

Based on the analytical review of structures of working bodies for simultaneous soil cultivation, seeding, introduction of seed and main fertilizers, the prospective scheme and a combination of working bodies have been substantiated, general requirements for their work have been formulated with the implementation of modern technologies Mini-Drill and Strip-Drill» Dependences were obtained on determining the speed of the seed at the distributor of the coil and the required height of its placement relative to the surface of the soil to ensure the implementation of agrotechnological conditions.

The researches made it possible to draw the following conclusions:

1. On the basis of the analytical review of the structures of working bodies for simultaneous cultivation of soil, sowing of seeds, application of starter and basic fertilizers, the perspective scheme and combination of working bodies are grounded, the general requirements for their work in the performance of modern technologies "Mini-Drill" and "Strip-Drill" are formulated. The coulter in the form of a paw with an anchor feeder knife should provide a strip sowing of cereal seeds simultaneously with the introduction of a starting dose of granular fertilizers to a depth of 20-40 mm by two strips 50-60 mm wide and 70-80 mm apart. Between the strips of seed and the starting fertilizer, a basic tape of the fertilizer is laid down with a narrow strip, with 30-50 mm below the level of the seed placement (Mini-Drill technology), or two layers deeper than the seeds by 30-50 mm and 150 -200 mm (Strip-Drill technology).

2. The height of the sowing hole of the combined coulter, which is 35 mm from the level of the surface of the earth at the diameter of the exit window 40 mm and the angle between the channels of the distributor 53°, is determined.

УДК 637.134

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-78-85

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ВЕБЕРА СТРУМИННО-ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., д. т. н.,

Ковальов О. О., асп.,*

Колодій О. С., к. т. н.,

Серий І. О., асп.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – у статті представлено та проаналізовано результати оптимізації основних параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока, за графіками, побудованими на основі даних, отриманих при проведенні експериментальних досліджень. Наведені результати оптимізації за показником жирності вершків, що використовуються при складанні нормалізованої суміші в залежності від ширини кільцевої щілини струминного диспергатора молока щілинного типу. Проаналізовано графік оптимізації швидкості дисперсної фази в залежності від жирності вершків, які використовувались при проведенні експериментальних досліджень процесу гомогенізації молочної емульсії. Наведені та обґрунтовані раціональні значення жирності вершків та швидкості їх подачі, при використанні яких забезпечуються мінімальні витрати енергії гомогенізатора при одночасному забезпеченні середнього діаметра жирових кульок, що знаходиться на рівні технологічно обумовлених значень (0,85 мкм). На основі експериментальних даних визначено критичне значення критерію Вебера, який є основним показником подрібнення жирових кульок в струминному диспергаторі молока щілинного типу.

Ключові слова – щілинний диспергатор, молоко, енергетичні витрати, середній діаметр кульок, вершки, жирова кулька, оптимізація.

Постановка проблеми. Гомогенізація належить до нормативних операцій, що використовуються для покращення поживних, смакових та товарних якостей для більшості молочних

© Самойчук К. О., Ковальов О. О., Колодій О. С., Серий І. О.

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

** Науковий керівник – к. т. н., доцент Кувачов В. П.

продуктів. Відмінною рисою гомогенізації є те, що для отримання продукту, дисперсність якого знаходиться у межах технологічно обумовлених значень (0,8-1,2 мкм), витрати енергії для найбільш поширених у промисловості конструкцій клапанних гомогенізаторів можуть сягати понад 8 кВт·год/т гомогенізованого молока [1]. Водночас з цим енергетичні витрати на проведення диспергування складають суттєвий відсоток в енергетичному балансі технологій отримання продукту. Зниження витрат енергії на диспергування призведе до зростання конкурентоспроможності та підвищить споживчий попит на молочну продукцію. Однак підвищення енергоефективності процесу диспергування ускладнюється відсутністю єдиної теоретичної бази процесу, що в свою чергу пов'язано з високими швидкостями руху рідини (понад 100-200 м/с) та мікроскопічним розміром досліджуваних часток дисперсної фази (менше 1 мкм).

Аналіз останніх досліджень. Перспективні дослідження новітніх конструкцій гомогенізаторів дозволяє стверджувати, що досягти значного зниження енергетичних витрат на гомогенізацію при отриманні середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень можливо досягти при дослідженні та впровадженні конструкцій, дія яких заснована на створенні максимальної різниці між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз молока [2]. Такий принцип реалізується в конструкції розробленого лабораторного зразка струминно-щілинного диспергатора молока з роздільною подачею дисперсної фази [3]. Загальний вигляд та складові частини камери струминного диспергатора молока щілинного типу наведені на рис. 1.

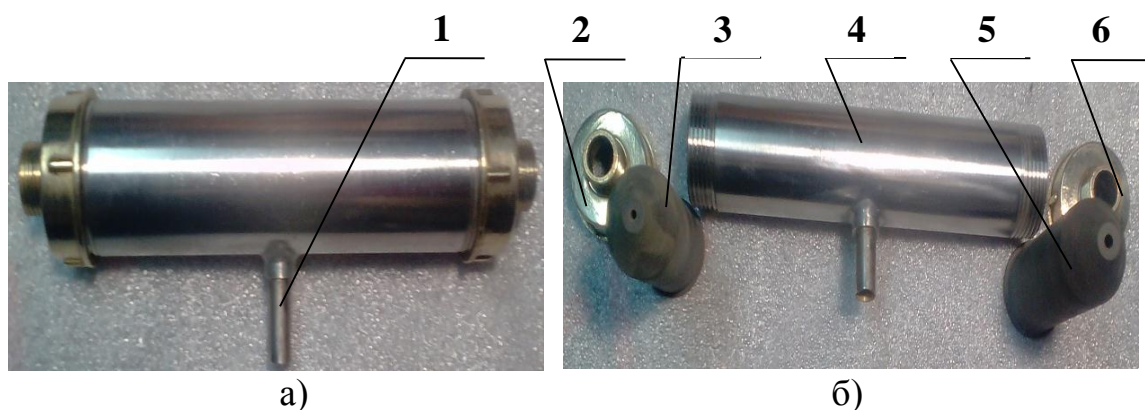


Рис. 1. Камера струминного гомогенізатора молока щілинного типу: а) у зборі, б) внутрішня будова: 1 – патрубок подачі продукту з ємності з вершками; 2 – патрубок подачі знежиреного молока; 3 – конфузор; 4 – корпус камери струминного диспергатора молока щілинного типу; 5 – дифузор; 6 – патрубок для відведення гомогенізованого та нормалізованого за жирністю молока

Основним вузлом конструкції гомогенізатора є камера струминно-щілинного диспергатора молока (рис. 1, б), яка складається з корпусної частини 4, у яку встановлюються профільовані вставки 3 та 5, які являють собою відповідно місця найбільшого звуження конфузору та відповідно розширення дифузору. Технологічний процес передбачає попереднє проведення сепарації молока, що отримане від корів різного віку, різних способів утримання та ін. Після цього знежирене молоко подається крізь патрубок подачі 2 з високою швидкістю, для отримання продукту, показники якості якого мають знаходитись в межах технологічно обумовлених значень. При проходженні продукту в місці найбільшого звуження конфузору, де знежирене молоко має найбільшу швидкість, до нього в співвідношенні, що розраховується згідно рівняння матеріального балансу з ємності з вершками крізь патрубок 1 (рис. 1, а) додається необхідна кількість вершків крізь кільцеву щілину. Готовий продукт відводиться крізь патрубок відведення б.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Підвищення енергоефективності гомогенізатора можливо за умови визначення та встановлення раціональних параметрів струминного диспергатора молока щілинного типу. Такий результат можливо отримати при впровадженні конструкції струминно-щілинного гомогенізатора молока, заснованому на створенні максимальної різниці швидкостей фаз, що дозволить знизити робочий тиск подачі знежиреного молока та відповідно енергетичні витрати на проведення диспергування. Для цього на підставі попередньо отриманих даних аналітичних досліджень проводилась оптимізація параметрів струминного диспергатора молока щілинного типу, результати якої наведено в [2]. Крім цього за результатами отриманими при проведенні експериментальних досліджень для визначення раціональних значень якісно-енергетичних показників диспергатора необхідно провести оптимізацію параметрів [3]. Тому метою даної статті було визначення раціональних параметрів роботи струминно-щілинного диспергатора, встановлення яких забезпечує отримання продукту з найменшим середнім розміром жирових кульок на рівні технологічно обумовлених показників при мінімальних витратах енергії на здійснення операції. Для досягнення поставленої мети визначались:

- раціональні параметри жирності та швидкості подачі вершків;
- експериментальні значення критерію Вебера.

Основна частина. У попередньо опублікованих працях [4, 5] було аналітично визначено раціональні параметри струминно-щілинного гомогенізатора молока, обґрунтовано діапазон коливання

змінних факторів процесу, наведено отримані залежності середнього діаметра та енергетичних витрат від основних параметрів струминного диспергатора молока щілинного типу.

Для визначення раціональних значень жирності вершків проводимо оптимізацію, за даними якої при середньому розмірі жирових кульок, що знаходиться в межах технологічно обумовлених значень (0,85 мкм) проводимо лінії рівної дисперсності, позначені суцільною лінією, зображеною на рис. 2.

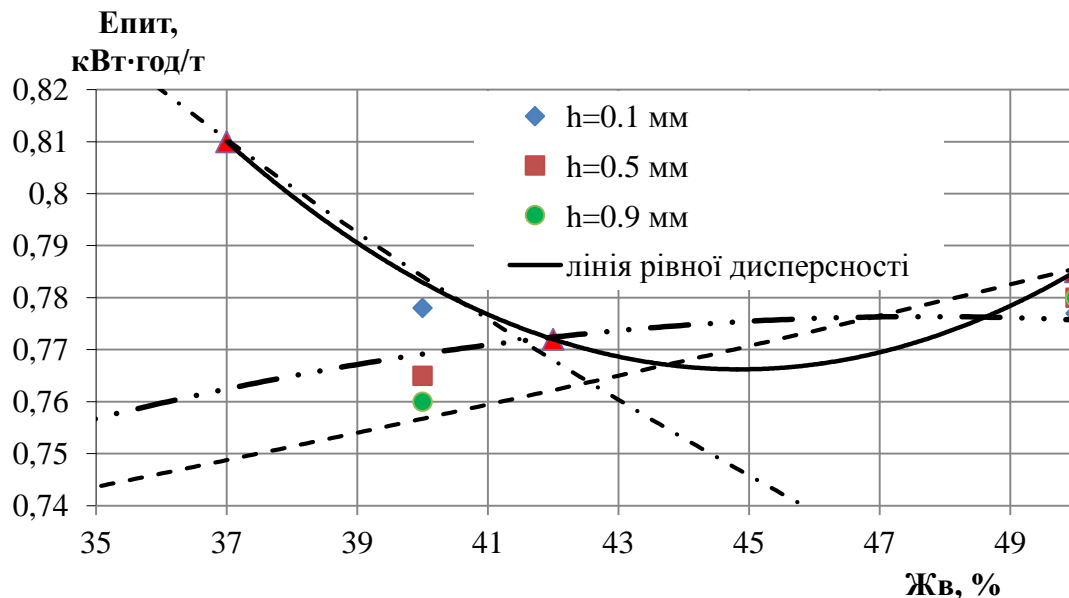


Рис. 2. Оптимізація жирності вершків, що використовуються при нормалізації знежиреного молока до жирності 3,5% та ширини щілини в струминно-щілинному гомогенізаторі молока

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що для отримання жирових кульок, середній діаметр яких складає 0,85 мкм, при використанні щілини, ширина якої дорівнює $h=0,4-0,6$ мм, найменші енергетичні витрати забезпечуються при використанні вершків, жирністю 42-48%. При використанні щілини, ширина якої складає $h=0,9$ мм, питомі енерговитрати зростають на 1-2%, при цьому жирність вершків, що використовуються для отримання нормалізованої молочної емульсії жирністю 3,5% має складати 44-50%. Найбільші енергетичні витрати має варіант з використанням щілини, шириною $h=0,1$ мм та менше, у якому для отримання молочної емульсії жирністю 3,5% потрібно використовувати вершки жирністю 36-37%. Отже при ширині щілини $h=0,5$ мм, раціональними параметрами струминно-щілинного диспергатора що забезпечує мінімальні витрати енергії є використання вершків жирністю 40-42%.

Для визначення раціонального значення швидкості подачі вершків слід провести оптимізацію даних, отриманих при проведенні експерименту, зображену на рис. 3.

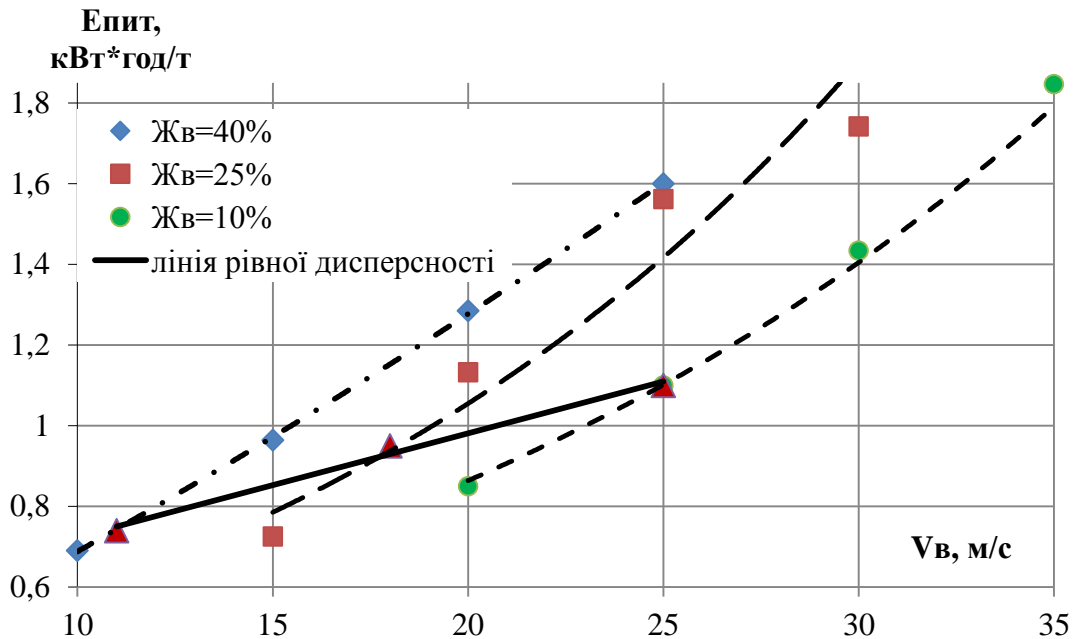


Рис. 3. Оптимізація швидкості та жирності вершків, що використовуються при нормалізації в струминно-щілинному гомогенізаторі молока

Аналіз отриманих при проведенні оптимізації швидкості подачі вершків даних (рис. 3) свідчить, що забезпечити мінімізацію енергетичних витрат на проведення диспергування для отримання молочної емульсії жирністю 3,5%, можливо при використанні вершків жирністю 40%, що досягається при швидкості подачі вершків, що дорівнює 11-13 м/с. Енергетичні витрати процесу при цьому не будуть перевищувати 0,7-0,75 кВт·год/т гомогенізованого молока. При збільшенні жирності вершків до 50% незначне 3-5% зниження енергії на диспергування буде компенсуватись підвищеними витратами енергії на проведення сепарації для отримання високо жирних вершків. При зменшенні жирності вершків до 25%, енергетичні витрати процесу зростають на 18-20%, оскільки згідно рівняння матеріального балансу збільшується кількість потрібних для складання нормалізованої суміші вершків, що підвищує необхідну швидкість знежиреного молока для забезпечення максимальної різниці швидкостей фаз. Енергетичні витрати при забезпеченні середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень мають максимальне значення (1,1 кВт·год/т) при використанні вершків жирністю 10%. Отже, найменші енергетичні витрати процесу диспергування забезпечуються при використанні вершків жирністю 40% при швидкості їх подачі, що коливається в межах 11-13 м/с.

Ефективне подрібнення жирових кульок забезпечується при виконанні умови (1) [2]

$$We^m = \frac{2\rho_{пл} \cdot k_{щ}^2 \cdot v_{зн}^2 \cdot d_{cp}}{\sigma_{жс-п}} \geq We_k, \quad (1)$$

де $\rho_{пл}$ – густина молочної плазми, кг/м^3 $\rho_{пл} = 1030 \text{ кг/м}^3$;

d_{cp} – середній діаметр жирової кульки після гомогенізації, який згідно нормативних вимог має складати 0,85мкм;

$v_{зн}$ – швидкість потоку знежиреного молока в місці подавання жирової фази, яка при діаметрі камери в місці найбільшого звуження $d_k=1,2$ складає 40м/с;

$k_{щ}$ – коефіцієнт струминно–щілинної гомогенізації, значення якого з врахуванням знайдених та позначених в роботі емпіричних залежностей приймається рівним одиниці;

$\sigma_{жс-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу жиру та плазми, $\sigma_{жс-п} = 0,1 \text{ Н/м}$.

Згідно результатів проведених розрахунків отримане значення числа Вебера для струминно-щілинного гомогенізатора підтверджує дані попередніх досліджень [2, 5] та дорівнює 28.

Висновки. Згідно результатів проведених експериментальних досліджень виявлено, що для забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обґрунтованих значень (0,85 мкм) ширина кільцевої щілини має дорівнювати 0,5 мм. При цьому для забезпечення максимальної різниці між швидкостями знежиреного молока та вершків, швидкість подачі вершків за умови мінімальних енергетичних витрат має коливатись в діапазоні 11-13 м/с, а жирність вершків, що використовуються при складанні нормалізованої суміші має знаходитися в діапазоні 40-42%. Експериментальні дослідження підтвердили значення критерію Вебера, що було прийнято для аналітичних розрахунків, яке складає 28. В ході подальших досліджень планується розробити методику розрахунку промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока.

Література:

1. *Фиалкова Е. А.* Гомогенизация. Новый взгляд: монография-справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
2. Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щілового гомогенізатора молока / *К. О. Самойчук* та ін. // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 1. С. 3-18.
3. Експериментальні дослідження параметрів струминного

гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу / К. О. Самойчук та ін. // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Вип 19, т. 2. С. 117-129.

4. *Walstra P., Wouters J. T. M. and Geurts T. J.* Homogenization // Dairy Science and Technology. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006, p. 279.

5. *Самойчук К. О.* Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій : автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018. 44 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ВЕБЕРА СТРУЙНО-ЩЕЛЕВОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., Ковалев А. А., Колодий А. С., Серый И. А.

Аннотация – в статье представлены и проанализированы результаты оптимизации основных параметров струйно-щелевого гомогенизатора молока, построенных на основании данных, полученных в ходе экспериментальных исследований. Приведены результаты оптимизации жирности сливок, используемых при составлении нормализованной смеси, в зависимости от ширины кольцевой щели в струйном диспергаторе молока щелевого типа. Проанализирован график оптимизации скорости дисперсной фазы в зависимости от жирности сливок, используемых при проведении экспериментальных исследований процесса гомогенизации молочной эмульсии. Представлены и обоснованы рациональные значения жирности сливок, ширины кольцевой щели диспергатора и скорости подачи дисперсной фазы, при использовании которых достигаются минимальные затраты энергии при одновременном обеспечении среднего диаметра жировых шариков на уровне технологически обусловленных требований (0,85 мкм). На основании данных экспериментальных исследований, определено значение критерия Вебера, являющегося основным показателем, определяющим уменьшение среднего размера жировых шариков в струйном диспергаторе молока щелевого типа.

OPTIMIZATION OF EXPERIMENTAL PARAMETERS AND IDENTIFYING THE EXPERIMENTAL VALUES OF WEBER CRITERION IN THE SLOT TYPE JET-MIXING HOMOGENIZER OF MILK

K. Samoichuk, O. Kovalyov, O. Kolodiy, I. Seriy

Summary

Reducing the energy costs of homogenization while ensuring the average diameter of fat globules at the level of technologically determined values (0.8-1.2 microns), is a priority for scientists in the industry. Prospective studies claim to reduce energy costs for the dispersing it is possible to achieve when using a jet homogenization, whose operation is based on creating the maximum difference between the velocity dispersion and the dispersed phase of the product, in particular design of of the jet–slot milk homogenizer type.

The article presents and analyzes the results of optimization of the main parameters, based on the data obtained in the course of experimental studies. The results of optimization of the cream fat content used in the preparation of the normalized mixture, depending on the width of the annular slit in the jet milk disperser of the slit type are presented. The graph of optimization of the disperse phase speed depending on the cream fat content used in the experimental studies of the milk emulsion homogenization process is analyzed. The rational values of cream fat content, the width of the ring slit of the dispersant and the speed of the dispersed phase supply are presented and justified, using which the minimum energy costs are achieved while ensuring the average diameter of the fat globules at the level of technologically conditioned requirements (0.85 μm). On the basis of experimental data, the value of the Weber criterion, which is the main indicator determining the decrease in the average size of fat globules in the jet milk dispersant of the slit type, is determined.

According to the results obtained, to reduce the energy costs of the dispersion process while ensuring the diameter of the fat globules at the level of technologically determined values, cream with a fat content of 40-42% should be used, which must be fed through an annular slot whose width is 0.5 mm at a speed of 11-13 m/s. The experimentally determined value of the Weber number for the jet-slot dispersant is 28 and confirms the results obtained in the study of the jet homogenizer of milk with a separate supply of cream.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ТОПОК

Стручаєв М. І., к. т. н.,

Постол Ю. О., к. т. н.,

Борохов І. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (098) 987-89-01

Анотація – в роботі розглянуто вплив режимів використання енергії палива на ефективність роботи системи опалення для одного із варіантів роботи твердопаливних топко шляхом зниження втрат палива, зменшення теплового напруження топкового простору за рахунок регулювання процесу горіння. Розглянуто алгоритм розрахунку та аналізу таких параметрів роботи топки, як: теплове напруження топкового простору, питома годинна витрата палива, кількість теплоти, яку топка виділяє за годину та маса палива, яку спалюють в топці за одну топку з метою підвищення енергоефективності. Запропоновано емпіричні формули розрахунку енергетичних параметрів топко малої потужності.

Ключові слова – теплове напруження топкового простору, питома годинна витрата палива, кількість теплоти, яку топка виділяє за годину, маса палива, яку спалюють в топці за одну топку, підвищення енергоефективності.

Постановка проблеми. Зараз для систем опалення найбільш часто використовують котельні установки, які працюють на природному газі. Однак, тарифи на природний газ постійно зростають. Альтернативним може бути використання в якості палива рослинних відходів [1], враховуючи, що наприклад теплота згорання тріски з гілок плодкових дерев знаходиться у межах від 10 МДж/кг до 16 МДж/кг [2], а соняшникового лушпиння складає 18-22 МДж/кг [3]. Питання економії енергоресурсів є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Системи опалення промислових і адміністративних будівель використовують для локального опалювання, або для нагріву води в системі гарячого водопостачання [4, 5]. Топка може бути газовою, або твердопаливною. Твердопаливні топки мають власну топку з пальником та бункер палива. Під час

роботи в палиник подається тверде паливо. Можливості підвищення їх енергетичної ефективності твердопаливних котлів розглянуто не повною мірою [4-6].

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є підвищення енергетичної ефективності систем опалення за рахунок оптимізації режимів спалювання для твердопаливних топок.

Основна частина. Головними чинниками підвищення енергетичної ефективності систем опалення за рахунок оптимізації режимів спалювання для твердопаливних топок є: теплове напруження топкового простору, питома годинна витрата палива, кількість теплоти, яку топка виділяє за годину та маса палива, яку спалюють в топці за одну топку [7].

Тепловим напруженням топкового простору q_v називають відношення кількості теплової енергії, що виділяється в топці в одиницю часу, до обсягу топкового простору. Теплове напруження топкового простору є основним нормативним показником для розрахунку топкових пристроїв. Його визначають за формулою:

$$q_v = \frac{Q_n^p \cdot B_p}{V_m}, \quad (1)$$

де q_v – теплове напруження топкового простору, Вт/м³;

Q_n^p – теплота згорання, Дж/кг;

B_p – питома годинна витрата палива, кг/год;

V_m – об'єм топки, м³.

Питому годинну витрату палива визначають за формулою:

$$B_p = \frac{3,6 \cdot Q_{роз}}{Q_n^p \cdot \eta_m}, \quad (2)$$

де $Q_{роз}$ – розрахункові витрати теплоти, Дж;

η_m – к.к.д. топки.

Кількість теплоти, яку топка виділяє за годину визначають за формулою:

$$Q_{год} = B_p \cdot Q_n^p \cdot \eta_m, \quad (3)$$

де $Q_{год}$ – кількість теплоти, яку топка виділяє за годину, Дж.

Маса палива, яку спалюють в топці за одну топку визначають за формулою:

$$M_{1мон} = B_p \cdot \tau, \quad (4)$$

де $M_{1мон}$ – маса палива, яку спалюють в топці за одну топку, кг;

τ – час роботи за одну топку, год.

Нижче приведено аналіз теплового напруження топкового

простору, питомої годинної витрати палива, кількості теплоти, яку топка виділяє за годину та маси палива, яку спалюють в топці за одну топку на прикладі топки тепловою продуктивністю 10 кВт.

Для цієї топки використовують паливо – тріска деревних відходів [3]. Склад палива, яке подається в топку як основне робоче паливо має такий склад: вуглець $C^P = 35,4\%$, водень $H^P = 4,2\%$, кисень $O^P = 25,3\%$, сірка $S^P = 0,4\%$, азот $N^P = 0,4\%$, зола $A^P = 10,3\%$, вода $W^P = 24\%$. Теплота згоряння Q^p знаходиться у межах від 10 МДж/кг до 16 МДж/кг.

Результати розрахунків основних енергетичних параметрів роботи твердопаливної топки такі, як: теплове напруження топкового простору, питома годинна витрата палива, кількість теплоти, яку топка виділяє за годину та маса палива, яку спалюють в топці за одну топку представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків основних енергетичних параметрів роботи твердопаливної топки.

№	Величини, позначення, одиниці вимірювання	Тривалість топки, годин					
		1	1,5	2,0	2,5	3,0	Безперервно
1	Теплове напруження топкового простору q_v , кВт/м ³	40,5	39,2	38,8	38,5	35,7	28,3
2	Питома годинна палива, B_p , кг/год	30,9	13,7	7,7	4,9	3,4	0,9
3	Кількість теплоти, яку топка виділяє за годину, $Q_{год}$, кДж	64,8	43,2	32,4	25,9	21,6	10,8
4	Маса палива, яку спалюють в топці за одну топку, $M_{топ}$, кг	30,9	20,6	15,4	12,3	10,3	–

Проаналізуємо можливості покращення мікроклімату в приміщенні, яке опалюється та зменшення витрат палива при різних режимах роботи твердопаливної топки при спалюванні усієї маси палива за одну топку на протязі доби за 1 годину, за 1,5 години, за дві топки по 1 годині на топку (разом 2 години на добу), за дві топки загальною тривалістю 2,5 години та за дві топки по 1,5 години (разом 3 години на добу). З графіку, який подано на рис. 1 видно, що теплове напруження топкового простору повільно зменшується за емпіричною формулою:

$$q_v = 40,618 * \tau^{-0,137}. \quad (5)$$

Питома годинна витрата палива зменшується за емпіричною формулою:

$$B_p = 30,928 * \tau^{-2,009}. \quad (6)$$

Кількість теплоти, яку топка виділяє за годину описується емпіричною формулою:

$$Q_{год} = 11,0114 * \tau^2 + 65,197 * \tau + 117,96. \quad (7)$$

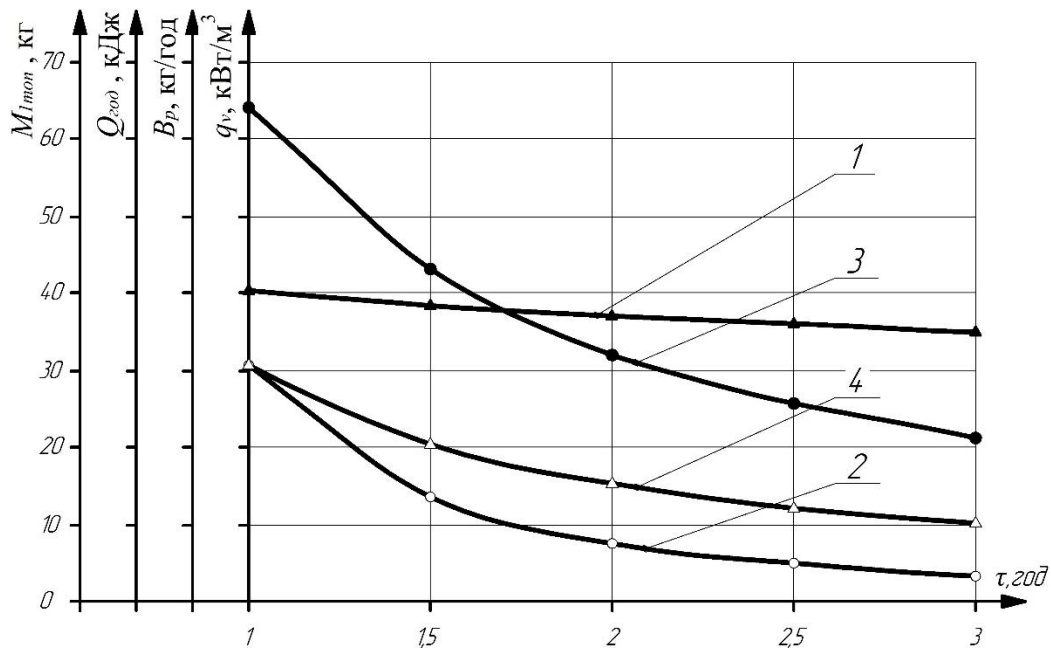


Рис. 1. Зміни основних енергетичних параметрів роботи твердопаливної топки від тривалості роботи топки: 1 – теплове напруження топкового простору, кВт/м³; 2 – питома годинна витрата палива, кг/год; 3 – кількість теплоти, яку топка виділяє за годину, кДж; 4 – маса палива, яку спалюють в топці за одну топку кг

Кількість теплоти, яку топка виділяє за годину значно зменшується, але температура в приміщенні, яке опалюється стає більш комфортною і рівномірною. Так для прикладу, який надано при спалюванні усієї кількості палива за одну топку тривалістю 1 годину температура в приміщенні різко збільшується до 27°C а потім поступово знижується до +14°C. При спалюванні усієї кількості палива за одну 3 топку на тривалістю по 1 годині температура в приміщенні підтримується сталою +18°C.

Маса палива, яку спалюють в топці за одну топку описується емпіричною формулою:

$$M_{1mon} = 5,343 \cdot \tau^2 + 31,271 \cdot \tau + 56,40. \quad (8)$$

Треба відзначити, що при всіх режимах спалювання маса палива, яку спалюють в топці за одну топку є однаковою $M_{1mon} = 30,9$ кг, але при декількох топках вона розподіляється більш рівномірно, що знижує теплове напруження топкового простору та кількість теплоти, яку топка виділяє за годину. Це в свою чергу зменшує градієнт температур між приміщенням, яке опалюється та зовнішнім повітрям, тобто – знижує теплові втрати.

Висновки. 1. Запропоновано алгоритм розрахунку та аналізу таких параметрів роботи топки, як: теплове напруження топкового простору, питома годинна витрата палива, кількість теплоти, яку

топка виділяє за годину та маса палива, яку спалюють в топці за одну топку.

2. Отримано емпіричні формули визначення зміни основних енергетичних параметрів роботи твердопаливної топки в залежності від режимів спалювання.

3. Пропоновану методику розрахунку та аналізу можна використовувати для підбору режимів роботи твердопаливних топок з метою підвищення енергоефективності.

Література:

1. Драганов Б. Х., Іщенко В. В. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем. Київ: Аграрна освіта, 2009. 230 с.

2. Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Ялпачик Ф. Ю. Підготовка соняшникового лушпиння до брикетування // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 1: Технічні науки. С. 16-23.

3. Стручаєв М. І. Дослідження впливу вологості палива та температури газів на ефективність роботи котлів для спалювання деревини та горючих відходів с/г виробництва // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта): матер. Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 14-18 грудня 2015 р.). Київ, 2015. С. 40-44.

4. Стручаєв Н. И., Кислый С. А. Котельные установки в сельском хозяйстве. Киев: Урожай, 1985. 167 с.

5. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві: навч. посібник. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

6. Кирюшатов А. И. Теплофикация в сельскохозяйственном производстве. Москва: Агропромиздат, 2006. 191 с.

7. Тепловой расчет котлов: Нормативный метод. Санкт-Петербург: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 257 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ТОПОК

Стручаев Н. И., Постол Ю. А., Борохов И. В.

Аннотация – в работе рассмотрено влияние режимов использования энергии топлива на эффективность работы системы отопления для одного из вариантов работы твердоотопливных топок путем снижения потерь топлива, уменьшения теплового напряжения топочного пространства за счет регулирования процесса горения. Рассмотрены алгоритм расчета и анализа таких параметров работы топки, как: тепловое

напряжение топочного пространства, удельный часовой расход топлива, количество теплоты, которое топка выделяет в час и масса топлива, которую сжигают в топке за одну топку с целью повышения энергоэффективности. Предложены эмпирические формулы расчета энергетических параметров топок малой мощности.

INCREASES THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLID FUEL BOILERS

M. Struchaiev, Y. Postol, I. Borokhov

Summary

The paper discusses the influence of fuel energy use on the efficiency of the heating system for one of the options for operating solid fuel furnaces by reducing fuel losses and reducing the heat stress of the combustion space by controlling the combustion process. The algorithm for calculating and analyzing such parameters of the firebox as the heat stress of the combustion space, the specific hourly fuel consumption, the amount of heat that the firebox emits per hour and the mass of fuel that is burned in the firebox for one firebox in order to improve energy efficiency are considered. Suggestions empirical formulas for calculating the energy parameters of low-power furnaces.

The purpose of this article is to increase the energy efficiency of heating systems by optimizing the combustion regimes for solid fuel furnaces. The amount of heat that the furnace emits per hour is significantly reduced, but the temperature in the room heated becomes more comfortable and uniform. So for example, provided when burning the entire amount of fuel for one firebox with a duration of 1:00, the room temperature increases sharply to 27°C and then gradually decreases to +14°C. When burning the entire amount of fuel for one 3 furnaces with a duration of 1:00, the temperature in the room is kept constant at + 18°C.

The algorithm for calculating and analyzing such parameters of the firebox as the heat stress of the combustion space, the specific hourly fuel consumption, the amount of heat that the firebox emits per hour and the mass of fuel that is burned in the firebox for one firebox are proposed. Empirical formulas for determining the change in the basic energy parameters of a solid-fuel furnace operation depending on the combustion regimes are obtained. The proposed method of calculation and analysis can be used for the selection of operating modes of solid-fuel furnaces with the aim of increasing energy efficiency.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ РОЛИКОВИХ РОЗКАТОК

Пеньов О. В., к. т. н.,

Черкун В. В., к. т. н.,

Мирненко Ю. П., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-54

Анотація – робота присвячена питанням удосконалення конструкції сепаратора роликової розгортки, що дозволяє підвищити довговічність та надійність його роботи.

У якості інструментів для пластичного деформування оброблюваного металу застосовують різноманітні розкатки. Основним елементом жорсткої багатороликової розкатки є металевий сепаратор, який є найбільш вразливою частиною. Досвід експлуатації розкаток показує, що під час роботи у результаті великих питомих тисків ролика на сепаратор ускладнюється змащування торцевої поверхні ролика, незважаючи на достатнє змащування розкатки під час її роботи. З метою підвищення довговічності та надійності роботи сепаратора, а також для зниження трудомісткості виготовлення й зменшення витрат на ремонт, при експлуатації розкаток було застосовано спосіб армування шляхом обкладання усіх поверхонь пазів сепаратора текстолітовими пластинами.

Ключові слова – машинобудування, сепаратор, текстолітові пластинки, довговічність, надійність, пластичне деформування, роликова розгортка.

Постановка проблеми. Проблема отримання точних глибоких отворів у деталях типу гільз є актуальною задачею механічної обробки. Релаксація коливань у сусідніх операціях діючих технологічних процесів призводить до виникнення хвилястості поверхні гільз гідроциліндрів. Це викликає недопустимі перетікання і витікання робочої рідини з гідросистем машин, які на сьогодні працюють з тиском порядку 15 МПа. Ці недоліки гідроциліндрів у найближчий час зростатимуть внаслідок переходу на більш високі значення тиску. Крім того, відомі технології не передбачають поліпшення властивостей поверхонь отворів, поверхневих шарів та

серцевини гільз гідроциліндрів методами інженерії поверхні. Існують також проблеми оброблюваності різанням високопластичних конструкційних сталей, що застосовуються для виготовлення гільз, а також підвищення коефіцієнту використання матеріалу трубної заготовки, який не перевищує 0,7-0,75 [1].

Аналіз останніх досліджень. В машинобудуванні широке розповсюджений метод розмірно-чистої обробки деталей машин з використанням пластичної деформації [3-6]. У якості інструментів для пластичного деформування оброблюваного металу застосовують різноманітні конструкції інструментів з використанням у якості деформуючого елемента кульок, а також роликів різної конфігурації.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є удосконалення конструкції сепаратора роликової розгортки, що дозволяє підвищити довговічність та надійність його роботи.

Основна частина. Надійність і довговічність роботи машин значною мірою залежить від якості поверхні деталі. При ремонті деталей широко застосовують методи чистої обробки металів пластичним деформуванням: накатування роликками і кульками, наклеп центробіжними зміцнювачами, дробоструминний наклеп, дернування отворів, алмазне вигладжування. На відміну від термічного, хіміко-термічного, хімічного, електрохімічного та інших методів зміцнення, методи механічного поверхневого зміцнення відрізняються простотою і доступністю для ремонтних підприємств, забезпечують високу точність і чистоту поверхні.

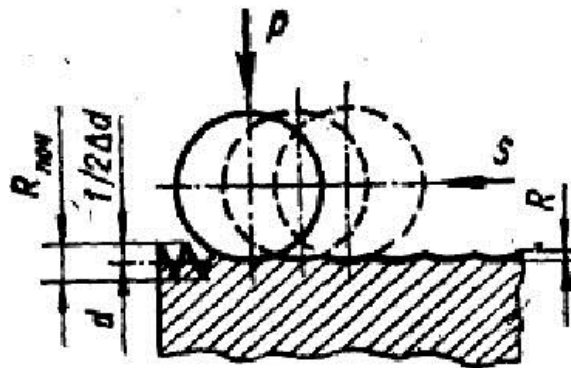


Рис. 1. Схема деформування поверхневих нерівностей при накатуванні: d – діаметр деталі; Δd – залишкова деформація; $R_{\text{поч}}$ – шорсткість поверхні до накатування; R – шорсткість після накатування; – подача; P – зусилля притискання

Суть процесу зміцнювального накатування (рис. 1) полягає у зминанні виступів мікронерівностей і заповнення впадин за рахунок тиску і переміщень одного або кількох кульок чи роликів по оброблювальній поверхні. В результаті накатування змінюється

мікроструктура, фізико-механічні властивості верхнього прошарку металу, підвищуються його твердість і міцність, збільшується стійкість проти спрацювання, шорсткість поверхні $R = 0,040$ мкм, діаметр оброблювальної деталі зменшується на величину залишкових деформацій [2].

Однією з конструкцій такого роду інструментів є жорстка багато роликів розкатка, яка представлена на рис. 2, та використовується для розмірно-чистої обробки отворів високого класу точності.

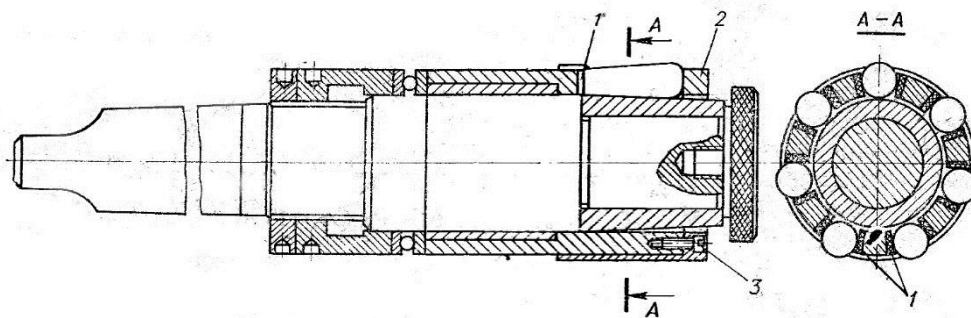


Рис. 2. Жорстка багатороликів розкатка: 1 – текстолітові пластини; 2 – спеціальна кришка; 3 – гвинти кріплення кришки

Основним елементом жорсткої багатороликової розкатки є металевий сепаратор (рис. 3). Він представляє собою тіло обертання, у якому вирізані пази, які орієнтують ролик у потрібному для правильної роботи розкатки положенні. Трудомісткість виготовлення сепаратора становить 40-45% загальної трудомісткості виготовлення розкатки.

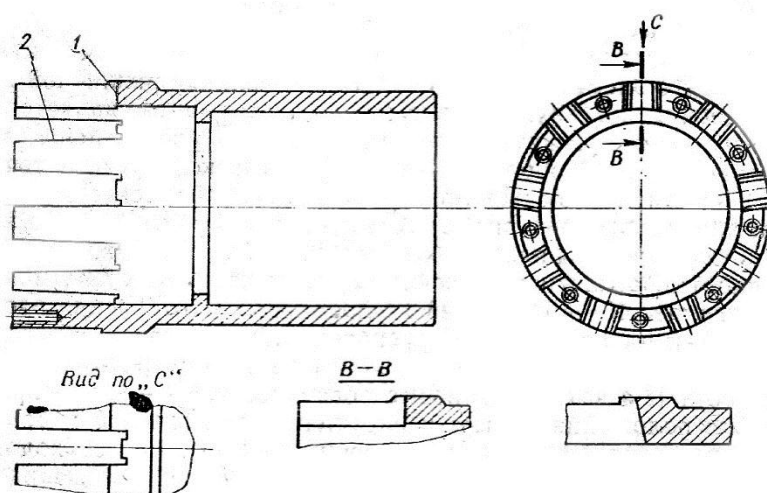


Рис. 3. Корпус сепаратора: 1 – корпус сепаратора; 2 – бічні поверхні пазу

У період експлуатації такої розкатки найбільш вразливою

частиною є сепаратор. При роботі розкатки у першу чергу зношується поверхня 1, а потім – бічні поверхні 2 пазу, що призводить до викривлення положення ролика та порушення нормальної роботи розкатки. Для відновлення працездатності розкатки необхідно виготовити новий сепаратор, що підвищує експлуатаційні витрати. Підвищення твердості поверхні сепаратора до 58-62 HRC, застосування високоякісних інструментальних сталей з метою підвищення зносостійкості його не приводить до бажаного результату. Армування пазів сепаратора пластинами твердого сплаву [6] шляхом їх напайки із наступним шліфуванням та доводкою до дев'ятого класу точності, підвищує експлуатаційну стійкість його приблизно у 1,5 рази. Однак трудомісткість виготовлення такого сепаратора збільшується у тричі.

Досвід експлуатації розкаток показує, що під час роботи у результаті великих питомих тисків ролика на сепаратор ускладнюється змащування торцевої поверхні ролика, незважаючи на достатнє змащування розкатки під час її роботи. У зв'язку із цим часто спостерігаються випадки приварювання торцевої поверхні ролика до сепаратора, що призводить до непрацездатності останнього.

З метою підвищення довговічності та надійності роботи сепаратора, а також для зниження трудомісткості виготовлення й зменшення витрат на ремонт при експлуатації розкаток на ПАО «Гідросила МЗТГ» було застосовано спосіб армування пазів сепараторів жорстких роликів розкаток, які використовуються для розмірно чистової обробки сталевих циліндрів діаметром 75 та 100 мм.

Армування проводилось шляхом обкладання усіх поверхонь пазів сепаратора текстолітовими пластинами 1 товщиною 1 мм так, як показано на рис. 3. Текстолітові пластини фіксувалися спеціальною кришкою 2, яка забезпечувала утримання пластин на бічних і торцевій поверхнях пазу сепаратора. Кріплення кришки до торцевої поверхні сепаратора здійснювалось гвинтами 3. Застосування текстоліту дозволило замінити інструментальну сталь на конструкційну звичайної якості.

Така конструкція дозволяє легко та швидко змінити зношені текстолітові пластини при порушенні нормальної роботи розкатки. При цьому працездатність сепаратора повністю зберігається. Практично він виходить із ладу у результаті забоїн, отриманих розкаткою, при введенні її у деталь або у результаті поломки при неправильній експлуатації.

Досвід експлуатації жорстких багатороликів розкаток із сепараторами, армованими текстолітовими пластинами, показує високу надійність та довговічність цих інструментів. По даним ПАО

«Гідросила МЗТГ», при розкатуванні сталевих гідроциліндрів $\varnothing 100$ мм жорсткими багатороликівими розкаткам, працюючими у наступному режимі: $V = 126$ м/хв., $S = 1,35$ мм/об. при натязі $t = 0,025$ мм, працездатність сепараторів, армованих текстолітовими пластинами, складає не менш 425 годин машинного часу, у той час як період стійкості розкаток, не армованих текстолітом, складає не більш 100 годин.

Висновки.

1. Впровадження у виробництво розкаток із сепаратором, армованим текстолітом, дозволяє знизити трудомісткість їх виготовлення у 1,5 рази.

2. Сепаратор може бути легко відремонтований декілька раз шляхом заміни текстолітових пластин.

3. Експлуатація у виробничих умовах розкаток, армованих текстолітовими пластинами, показали їх високу працездатність та технологічну надійність, що дозволяє рекомендувати таку конструкцію розкаток для широкого впровадження у виробництво.

Література:

1. *Посвятенко Е. К., Посвятенко Н. І., Будяк Р. В.* Холодна пластична деформація як фактор підвищення оброблюваності пластичних матеріалів протягуванням // Вісник Національного транспортного університету. 2014. Вип. 30. С. 316-320.

2. Оброблення деталей методом пластичного деформування. URL: <https://works.doklad.ru/view/fUojr0pKS-Y.html> (дата звернення: 07.08.2019).

3. Размерно-чистовая и упрочняющая обработка деталей давлением: сборник. Москва: ЦИНТИАМ, 1963.

4. Размерно-чистовая обработка деталей машин пластическим деформированием взамен обработки резанием: сборник. Москва: НЦИМАШ, 1965.

5. *Шнейдер Ю. Г.* Холодная бесштамповая обработка металла давлением. Москва: Металлургиздат, 1961. 352 с.

6. *Азаревич Г. И.* Чистовая обработка цилиндрических поверхностей пластическим деформированием в холодном состоянии // Размерно-чистовая и упрочняющая обработка деталей давлением. Москва: Машиностроение, 1963. С. 143-156.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РОЛИКОВЫХ РАСКАТОК

Пенёв О. В., Черкун В. В., Мирненко Ю. П.

Аннотация – работа посвящена вопросам совершенствования конструкции сепаратора роликовой раскатки, что позволяет повысить долговечность и надежность его работы.

RISE OF DURABILITY AND RELIABILITY WORK OF ROLLER BURNISHING TOOLS

O. Peniov, V. Cherkun, Y. Mirnenko

Summary

The problem of obtaining accurate deep holes in sleeve-type parts is an urgent task of machining. The relaxation of oscillations in the adjacent operations of the existing technological processes leads to the appearance of undulations of the surface of the sleeves of the hydraulic cylinders.

The work is devoted to the issues of improving the construction of the roller burnishing separator, which allows to increase the durability and reliability of its work. As the tools for the plastic deformation of the metal which is processed, various rollers are used. The main element of a hard multi roller burnishing tool is a metal separator, which is the most vulnerable part. Operation experience of rolling shows that during operation, as a result of high specific pressures of the roller on the separator, is complicated by a lubrication of the end surface of the roller despite the sufficiency of the lubrication of rolling during its operation. For the purpose of increasing a service life, reliability of the separator work, as well as to reduce the labour intensity of manufacturing and reduce repair costs, during the operation of the roller burnishing tools, a method of reinforcement was applied by means of covering all surfaces of the separator slots with textolite plates.

The studies conducted allowed us to draw the following conclusions: the introduction into production of rolls with a separator, reinforced with textolite, can reduce the complexity of their manufacture by 1.5 times; the separator can be easily repaired several times by replacing textolite plates; operation under production conditions of roller blades, reinforced with textolite plates, showed their high efficiency and technological reliability, which makes it possible to recommend this design of roller blades for widespread introduction into production.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ БРИКЕТУВАННЯ СОЛОМИСТИХ МАТЕРІАЛІВ УДАРНИМ ПРЕСОМ

Єременко О. І., к. т. н.,

Зубок Т. О., к. с-г. н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Лук'янець В. О., інж.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Анотація – в статті представлені результати лабораторних дослідів процесу брикетування ударно-механічним способом соломистих матеріалів у виробі кормового та паливного призначення. Наведено графічні залежності щільності брикетів від тиску пресування, вологості сировини, тривалості перебування стиснутої маси в матриці для отримання брикетів заданої щільності. Визначено і проаналізовано коефіцієнти тертя матеріалу під час брикетування. Проведено аналіз параметрів брикетного процесу, технологічних характеристик отриманих брикетів залежно від фізико-механічних властивостей соломистих матеріалів і режимів роботи ударного преса.

Ключові слова – брикети, соломисті матеріали, брикетний прес, процес, ударна дія, параметри, графічні залежності.

Постановка проблеми. Виробництво і використання паливних брикетів з аграрної біомаси (соломи ранніх зернових, стебел кукурудзи, соняшника тощо), енергетичний потенціал якої в Україні становить близько 8,3 млн. т н. е./рік, є занадто актуальним питанням біоенергетики [1]. Брикети або «евродрова» – це покращене паливо з нормативно встановленою якістю [1, 2]. Вони є реальною альтернативою традиційним надровим джерелам енергії для отримання екологічно «чистого тепла», а за теплотворною здатністю 16-19 МДж/кг не поступаються бурому вугіллю [1, 2].

Біопаливні брикети поділяють на три типи – NESTRO (NIELSEN), RUF та Pini&Kaу, що відповідає назві основних фірм-виробників обладнання. Брикети NESTRO виробляють на гідравлічних пресах, а NIELSEN – на ударно-механічних пресах. Перевагами останніх типів брикетів є відносно не велика собівартість, висока щільність (0,9-1,1 т/м³ [1]. Окрім того, преси ударної дії

забезпечують більш якісне брикетування матеріалів з пружно-в'язкими властивостями. Тому, для визначення впливу фізико-механічних показників соломистого матеріалу на технологічні показники брикетів кормового та паливного призначення, доцільно провести лабораторні дослідження процесу брикетування на установці ударно-механічної дії.

Аналіз останніх досліджень. Результати досліджень процесів брикетування рослинних матеріалів оприлюднені в багатьох наукових працях [3-5, 7-10]. Разом з цим, важливому проблемному питанню отримання брикетів з соломистих матеріалів присвячені такі публікації [1, 3, 4, 7, 8, 10], в яких проведено аналіз впливу фізико-механічних властивостей сировини на протікання процесу та на остаточні показники отриманих виробів, але роботи [4, 7, 10] присвячені дослідженню процесів і механізмів живлення та попереднього ущільнення біомаси перед пресуванням.

Відомо, що для ефективного спалювання соломистих матеріалів потрібно мати паливо у вигляді виробів майже однакових за розмірами і формою. Це забезпечує необхідний контакт палива з киснем повітря для найбільшої тепловіддачі, та сприяє застосуванню засобів механізації процесів в опалювальних установках [1, 4, 6].

Автори досліджень [1, 3, 4, 9, 10] стверджують, що процес брикетування соломистих матеріалів характеризується як складний і стохастичний. Під час дії ударних робочих органів відбуваються структурні зміни матеріалу, щільність його підвищується, він набуває властивості монолітного тіла. Щільність є основним показником якості брикетів і визначає їх міцність, вологостійкість, тепловіддачу [1, 4, 7, 9, 10]. Проте, не в усіх зазначених працях розкрито явище пресування соломистої маси у монолітні міцні брикети.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Рационально впроваджувати результати проведених дослідів для підвищення ефективності брикетних пресів ударно-механічної дії.

Основна частина. Лабораторні досліді брикетування пшеничної соломи, полови та їх сумішей зі здрібненими зерновими відходами проведені на дослідній установці штемпельного преса Б 9032 з круглою матрицею діаметром 40 мм. Результати дослідів свідчать, що показники щільності брикетів з соломистих матеріалів мають різні значення. Загальні закономірності [3] щодо збільшення щільності зі збільшенням навантаження підтверджуються в більшій мірі на брикетуванні суміші з зерновідходами (рис. 1, а). Це пояснюється тим, що даний технологічний матеріал створює найменшу пружну післядію порівняно з соломою чи половиною.

Як впливає з рис. 1 (а), найбільш щільні брикети понад 900 кг/м³ отримані з суміші соломи і зерновідходів при тиску пресування

65 МПа. Меншу щільність біля 830 кг/м³ мають брикети з полови, отримані при більш високому тиску пресування – 90 МПа. Брикети найменшої щільності до 800 кг/м³ одержані зі стеблової соломистої частини, яку, як встановлено дослідями, доцільно брикетувати ударним способом при тисках понад 100 МПа.

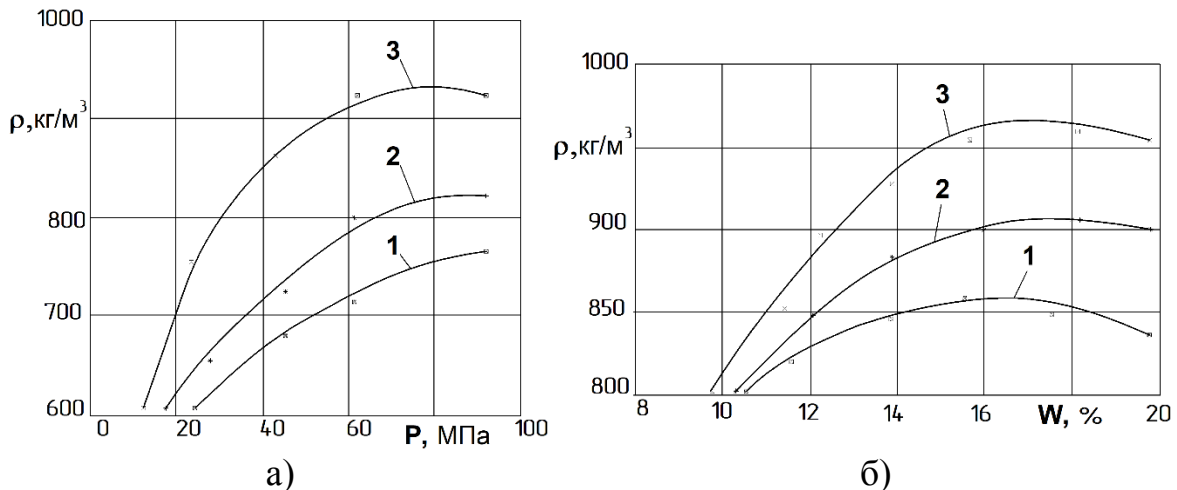


Рис. 1. Графічні залежності щільності брикетів від тиску (а) пресування та від вологості (б) сировини при тиску $P = 60$ МПа: 1 – солома; 2 – половина; 3 – суміш соломи і зерновідходів

З підвищенням вологості соломистого матеріалу щільність брикетів зростає, а при вологості $W=17\%$ вона (щільність) має найбільші значення (рис. 1, б). Подальше зволоження призводить до зменшення щільності, проте, в брикетах, що включають зерновідходи, це явище відбувається несуттєво і пояснюється підвищенням адгезійної здатності в борошністій частині суміші. Практикою [1] встановлено, що брикети з вологістю понад 17% незадовільно зберігаються, зокрема уражаються мікроорганізмами, частково руйнуються і тому втрачають свою кормову та паливну цінність.

Одним з важливих показників процесу брикетування є фактор тривалості перебування матеріалу в матриці у стислому стані (рис. 2, а) для послаблення внутрішнього напруження (релаксації). Цей показник залежить від кількості матеріалу, що подається у пресову камеру, та від довжини матричного каналу. Щільність брикетів визначається значною мірою даними параметрами, що треба враховувати при розробці конструкції преса.

З підвищенням продуктивності преса за рахунок збільшення подачі матеріалу в камеру пресування, щільність брикетів знижується із-за коротшого терміну перебування в матриці (рис. 2, а) більшої за кількістю (об'ємом) соломистої маси. Зниження щільності брикетів також спостерігається при зменшенні довжини каналу матриці.

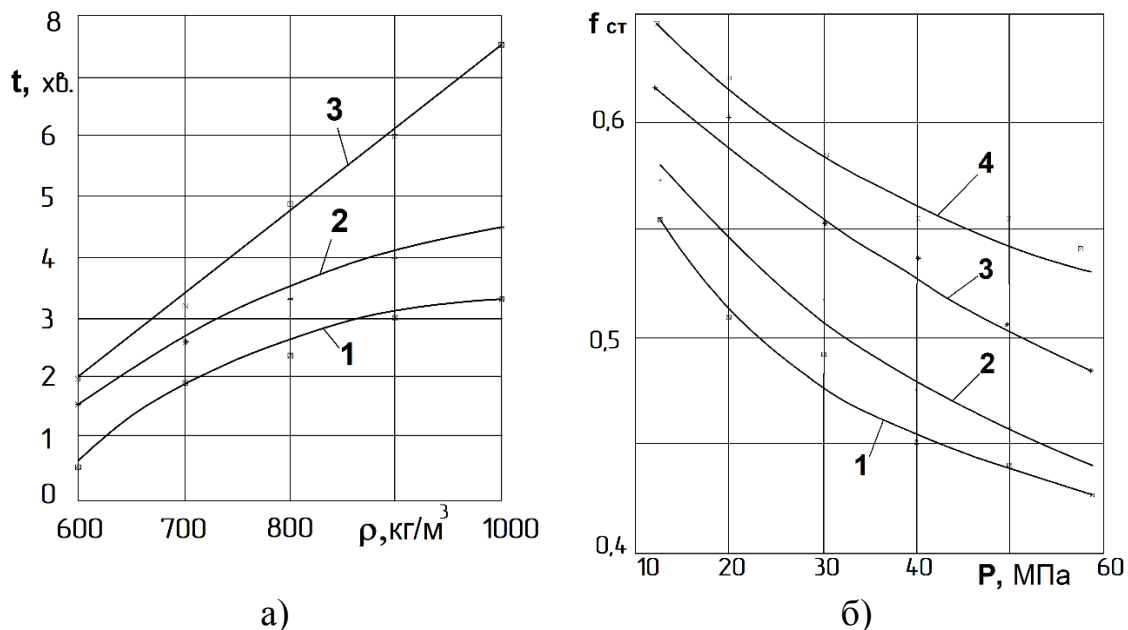


Рис. 2. Графічна залежність (а) тривалості перебування матеріалу у стисненому стані від заданої щільності брикетів: 1 – солома $W=14,6\%$; 2 – солома $W=12,8\%$; 3 – суміш соломи і зерновідходів $W=14\%$; залежність (б) коефіцієнта тертя від тиску: 1 – солома (30-80 мм); 2 – солома (20-30 мм); 3 – солома; 4 – суміш соломи і 30% зерновідходів

При визначенні коефіцієнтів зовнішнього тертя f_T встановлено, що найменші значення мають показники сукупностей, позначених 1 і 2, що на рис. 2(б). Величина коефіцієнта більша у полові (3) та у суміші соломи і зерновідходів (4). Досліди показали, що в межах прийнятих навантажень (тисків) до 60 МПа на солонисті матеріали спостерігається зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя f_T майже за прямолінійною залежністю зі збільшенням навантаження.

В результаті брикетування соломи, соломи та сумішей на дослідній установці формувались брикети з щільністю 0,8-1,0 т/м³ при частоті 200 ударних рухів штемпеля за хвилину. Продуктивність установки для соломи становить 2 т/год.; соломи – 2,2 т/год.; суміші соломи і 30% зерновідходів – 2,4 т/год.

Висновки.

1. За результатами досліджень доведена ефективність установки ударної дії на брикетуванні солонистих матеріалів, яким притаманні пружні властивості. При тиску пресування 60 МПа найбільшу щільність понад 900 кг/м³ мали брикети з сумішею завдяки незначній пружній післядії порівняно з соломою. Брикети з «чистої» соломи з фракційним складом біля 80 мм доцільно брикетувати під тиском понад 100 МПа.

2. Зі збільшенням тиску пресування коефіцієнти зовнішнього тертя f_T зменшуються. Дана тенденція спостерігається для всіх

досліджуваних матеріалів, найменші значення коефіцієнтів у соломі крупного подрібнення, найбільші – у суміші половин і зерновідходів.

3. На пунктах післязбиральної обробки зерна за період жнив може накопичуватись, як приклад, 8 тис. т соломі і половин після очищення зернового матеріалу. При застосуванні одного брикетного ударного преса з продуктивністю 4 т/год. можна переробити всю соломисту масу в кормові та паливні брикети протягом 200 днів.

Література:

1. *Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Драгнєв С. В.* Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні // Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України. 2018. № 20. 48 с. URL: www.uabio.org/activity/uabio-analytics (дата звернення: 08.07.2019).

2. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements EN 14961 – 1: 2010 European standard.

3. *Боярчук В., Чучман В.* Исследование и обоснование теоретической модели процесса брикетирования соломы в pellets // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2014. Vol. 16, № 4. P. 3-8.

4. *Лук'янець В. О., Субота С. В.* Вплив параметрів ущільнення рослинної біомаси на показники якості біопаливних брикетів // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2014. Вип. 99, т. 2. С. 103-113.

5. *Mani S., Tabil L., Sokhanshaj S.* Effects of compressive force, size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses // Biomass and Bioenergy. 2006. Vol. 30, № 7. P. 648-654.

6. *Голуб Г. А., Лук'янець В. О., Субота С. В.* Теплота згоряння та умови спалювання соломі // Науковий вісник НУБіП України. 2009. Вип. 142. С. 275-278.

7. *Кузьміч Я. А., Кульчицький А. А.* До питання експозиції завантаження пресових камер штемпельних брикетних пресів // Механізація електрифікація сільського господарства. 2001. Вип. 85. С. 150-154.

8. *Семірненко С. Л.* Дослідження залежності щільності брикетів із соломі озимої пшениці від деяких факторів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2011. Вип. 111. С. 112-120.

9. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик / *Д. П. Кіндзера та ін.* // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.17. С. 138-146.

10. *Єременко О. І., Лук'янець В. О.* Дослідження та вдосконалення живильного пристрою перспективного брикетного

преса // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2014. Вип. 4, т. 2. С. 146-156.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ СОЛОМИСТОГО МАТЕРИАЛА УДАРНЫМ ПРЕССОМ

Еременко А. И., Зубок Т. А., Лукьянец В. А.

Аннотация – в статье представлены результаты лабораторных исследований процесса брикетирования ударно-механическим способом солоmistых материалов в изделия кормового и топливного назначения. Приведены графические зависимости плотности брикетов от давления прессования, влажности сырья, продолжительности пребывания сжатой массы в матрице для получения брикетов заданной плотности. Определены и проанализированы коэффициенты трения материала во время брикетирования. Проведен анализ параметров брикетного процесса, технологических характеристик полученных брикетов в зависимости от физико-механических свойств солоmistых материалов и режимов работы ударного прессы.

PREVIOUSLY THE PROCESS OF BRIQUETTING THE STRAW MATERIAL TO THE SHOCK PRESS

O. Ieremenko, T. Zubok, V. Luk'yanets

Summary

The article presents the results and analysis of the laboratory experiments of the technological process of briquetting straw materials into fuel and fed wares in a shock-mechanical way.

The agro-industrial complex of Ukraine has significant energy potential for secondary biomass. To produce clean heat, it is advisable to convert this biomass into technologically efficient fuel – briquettes. Most of the raw materials are by-products of early cereals. This is straw, half, grain waste. However, straw materials have special physical and mechanical properties that do not contribute to the production of high-quality briquettes, even on effective shock-mechanical presses.

The results of previous studies confirm the ambiguity and

complexity of the process of briquetting straw materials. Density is the main indicator of the quality of fuel briquettes. It determines strength, moisture resistance, heat transfer during burning. Not all known scientific works have revealed the phenomenon of effective pressing of straw mass into solid briquettes. Therefore, it is advisable to investigate and clarify the parameters of the process of briquetting straw materials on presses mechanical impact.

Laboratory experiments of briquetting wheat straw, halves and their mixtures with crushed grain wastes were carried out at the experimental installation of a press with a circular matrix with a diameter of 40 mm.

According to the results of experiments, graphical dependences of the main parameters of briquettes of straw materials on the pressure of compression, humidity of raw materials, duration of residence of the material in the matrix to obtain products of a given density were constructed. The densest briquettes (over 900 kg/m³) are obtained from the mixture at a compression pressure of 65 MPa. It is advisable to briquette the straw of a large fraction of 30-80 mm in shock way at pressures above 100 MPa.

The friction coefficients of the material during briquetting are also determined and analyzed. Within the specified loads, there is a decrease in the external friction coefficient by almost a straight-line dependence with increasing pressure up to 60 MPa.

Straw material briquettes should be used for livestock and heating systems.

ТЕРМОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОТРИМАННЯ ДОБРИВ З ТРІСКИ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ

Караєв О. Г., д. т. н.,

Бондаренко Л. Ю., к. т. н.,

Стручаєв М. І., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (098) 846-00-56

Анотація – стаття присвячена проблемі підвищення якості добрив із зрізаних гілок плодкових дерев, що дозволяє мінімізувати ризики для навколишнього середовища. Наведено обґрунтування параметрів процесу перетворення біомаси тріски у буртах. Розроблено термодинамічну модель процесу буртового способу компостування тріски плодової деревини, яка створює підстави для розроблення технології переробки ЗГП у високоякісне добриво. Така технологія буде відповідати вимогам стандарту Global G.A.P. та сприяти раціональному використанню природних ресурсів.

Ключові слова – термодинамічна модель, питомі втрати, буртовий спосіб, компост, сертифікація продукції.

Постановка проблеми. Шляхом постачання плодової продукції на зовнішній ринок є процедура сертифікації всіх процесів виробництва продукції за стандартом GLOBALG.A.P. [1]. Даним стандартом визначено, що відходи компостують і застосовують для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища.

Так, у базовому модулі даного Стандарту АФ.6 «Ліквідація відходів і контроль забруднення навколишнього середовища» у пункті 6.2.4. визначено таку контрольну точку: «Організована лі переробка і компостування органічних відходів...», а критерієм відповідності даної контрольної точки є те, що відходи компостуються і застосовуються для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища [1]. Для отримання якісного і безпечного компосту, який можливо застосовувати у якості органічного добрива в садах, необхідно розробити термодинамічну модель процесу перетворення відходів у добрива [2].

Аналіз останніх досліджень. Одним із видів органічних відходів у садівництві є зрізані гілки плодкових дерев (ЗГП), які відносяться до відновлюваного ресурсу (ВР). Згідно попередньої оцінки їх біомаса в Україні складає близько 784 тис. т/рік [3]. На даний час утилізацію ЗГП здійснюють переважно спалюванням, що призводить до негативних змін у біосфері. А за критерієм, який визначає Стандарт GLOBALG.A.P. передбачено наявність науково-обґрунтованого процесу поводження з відходами, тобто має бути впроваджена технологія їх перероблення на тріску, компостування в буртах і використання отриманого компосту (добрива) для поліпшення ґрунту в садах. Процедура управління відходами і контроль забруднення навколишнього середовища повинні бути документованою.

Процес компостування в буртах знайшов висвітлення у дослідженнях, присвячених розробці технологічної схеми [4], параметрів компостування [5], режимів компостування [6] та термодинамічних процесів при компостуванні [7]. Запропоновано також використання рослинної сировини для виробництва біогазу з розрахунком технологічних та конструктивних характеристик біогазгенератора [8]. Теплотехнічні розрахунки та процеси теплопередачі у загальному вигляді висвітлено досить повно [9], але спеціальні роботи, присвячені тепловим процесам при компостуванні тріски зрізаних гілок плодкових дерев відсутні.

Проведений аналіз досліджень по розробці технології приготування компостів з відходів садівництва дозволив встановити наступне:

- недостатньо вивчені питання компостування відходів садівництва;
- використання деревних відходів садівництва (тирси, тріски) стримується відмінністю технологічних властивостей їх компонентів;
- відсутня термодинамічна модель отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодкових дерев.

Формування цілей статті (постановка завдання). Підвищити якість добрива із ЗГП та мінімізувати ризики для навколишнього середовища шляхом обґрунтування параметрів процесу перетворення біомаси тріски у буртах.

Основна частина. Термодинамічну модель процесу буртового способу компостування тріски плодової деревини можна розрахувати спільним розв'язком рівнянь теплового балансу і теплопередачі.

У відповідності до [2] рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q^{mб} = m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{2m} - T_{1m}) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{2k} - T_{1k}), \quad (1)$$

де $Q^{mб}$ – кількість теплоти в тепловому балансі, Дж;

m_1 – маса тріски, кг;

m_2 – маса готового компосту, кг;

c_1 – теплоємність тріски, Дж/(кг·К);

c_2 – теплоємність готового компосту, Дж/(кг·К);

$T_{1m}, T_{1к}$ – відповідно початкові температури тріски і компосту, К;

$T_{2m}, T_{2к}$ – відповідно кінцеві температури тріски і компосту, К;

Разом з тим рівняння теплопередачі має вигляд [2]:

$$Q^{mn} = k \cdot F_6 (T_{6\text{сер}} - T_{\text{навк.сер}}) \cdot \tau, \quad (2)$$

де Q^{mn} – кількість теплоти під час теплопередачі від тріски в бурті до навколишнього середовища, Дж;

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

F_6 – площа поверхні бурта, м²;

$T_{6\text{сер}}$ – середня температура тріски в бурті, К;

$T_{\text{навк.сер}}$ – середня температура навколишнього середовища, К;

τ – час трансформації тріски, с.

Оскільки, в реальному процесі, трансформація тріски супроводжується втратою енергії, то рівняння теплового балансу (1) необхідно представити відносно корисної енергії готового компосту у вигляді:

$$Q_2 = Q_1 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6, \quad (3)$$

де Q_2 – кількість корисної енергії в готовому компості, Дж;

Q_1 – вхідна кількість енергії тріски, Дж;

Q_3 – втрати енергії від хіміко-біологічних реакцій, Дж;

Q_4 – втрати енергії від нерівномірності подрібнення тріски, Дж;

Q_5 – втрати енергії з газоподібними продуктами, Дж;

Q_6 – втрати теплової енергії в навколишнє середовище, Дж.

Для зручнішого розв'язання рівняння теплового балансу відносно корисної енергії готового компосту (3) кількість теплоти в тепловому балансі доцільно привести до питомих величин:

$$q_i = \frac{Q_i}{m_i}$$

Тоді

$$q_2 = q_1 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6 \quad (4)$$

де $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ – відповідні питомі величини складових теплового балансу, Дж/кг;

Найбільший інтерес має величина q_3 (Q_3) – кількість теплоти, яка виділяється у результаті життєдіяльності мікроорганізмів, що призводить до саморозігрівання субстрату в бурті і прискоренню його переробки. Саме цю величину необхідно підставляти в ліву частину

рівняння теплопередачі (1), вирішивши його відносно F_6 , знайдемо площу поверхні бурта [10]:

$$F_6 = \frac{Q_3}{k \cdot (T_{\text{ср}} - T_{\text{нс}}) \cdot \tau}. \quad (5)$$

А довжину бурта, яка дозволить забезпечити оптимальну роботи бактерій можна визначити за формулою [10]:

$$L_6 = \frac{Q_6}{(k_\ell + k_{\text{сф}}) \cdot (T_{\text{ср}} - T_{\text{нс}}) \cdot \tau + 2R_2}, \quad (6)$$

де R_2 – радіус середнього шару бурта, м.

З теорії теплообміну [11, 12] відомо, що ця площа буде різною для буртів з різними формами і найменшою буде для сфери (далі – циліндра). При існуючих засобах механізації формування буртів, їх зручніше представляти у вигляді напівциліндра із сферичними торцевими частинами (рис.1). Тоді можна уточнити площу бурту F_6 з урахуванням формул для визначення коефіцієнтів теплопередачі для циліндричної k_ℓ та сферичної $k_{\text{сф}}$ частини бурта.

Схема для визначення теплових втрат в процесі компостування для циліндричної і напівсферичної частин бурта графічно представлена на рис. 1, а схема процесу теплопередачі в циліндричній частині бурта – на рис. 2.

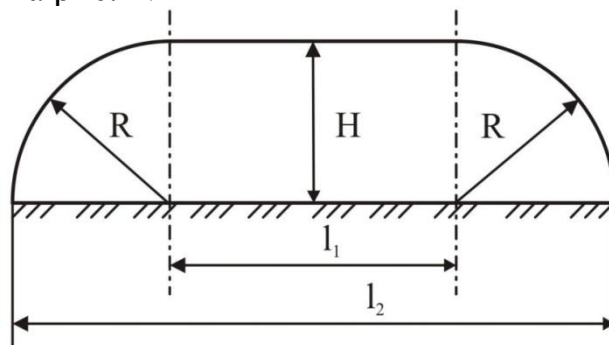


Рис. 1. Схема для визначення теплових втрат в процесі компостування тріски для циліндричної і напівсферичної частин бурта: H – висота циліндричної частини бурта; R – радіус сферичної частини бурта; l_1 – довжина циліндричної частини бурта; l_2 – загальна довжина бурта

Значення коефіцієнта теплопередачі k_ℓ (Вт/(м²·К)) для циліндричної частини бурта визначається за формулою [10]:

$$k_\ell = \left(\sum \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2\alpha R_2} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де λ_i – коефіцієнти теплопровідності шарів компосту, Вт/(м·К);

R_1, R_2 – радіуси середнього і зовнішнього шарів, м;
 α – коефіцієнт тепловіддачі поверхні шару компосту, Вт/(м²·К).

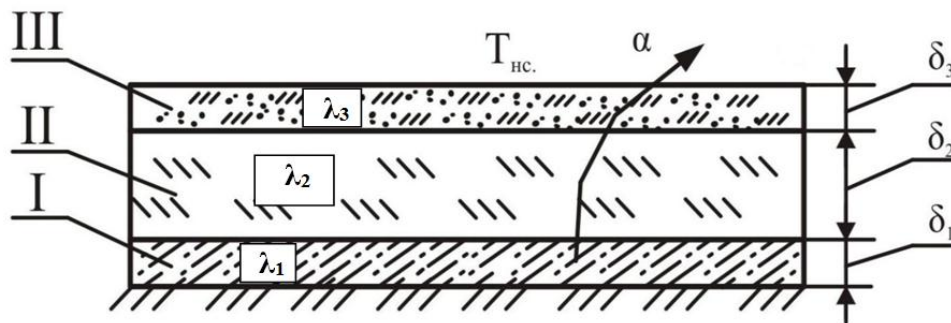


Рис. 2. Схема процесу теплопередачі в циліндричній частині бурта: I – теплоізолюючий шар від поверхні ґрунту; II – шар, в якому відбуваються реакції; III – теплоізолюючий шар від повітря; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщини шарів; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коефіцієнти теплопровідності шарів компосту

Для торцевих напівсферичних частин бурта значення коефіцієнта теплопередачі $k_{сф}$ визначається за формулою [10]:

$$k_{сф} = \left(\sum \frac{1}{4\lambda_i} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{4\alpha_2 R_2^2} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де λ_i – коефіцієнти теплопровідності, Вт/(м·К);

R_1, R_2 – радіуси бурта, м;

α – коефіцієнт тепловіддачі поверхні бурта, Вт/(м²·К).

Загальне значення радіусу бурта R можна знайти при наявності значень:

- товщини нижнього теплоізолюючого шару;
- товщини шару, в якому відбуваються реакції;
- товщини верхнього теплоізолюючого шару.

За допомогою розробленої методики компостування було розглянуто схему теплоізоляції бурта по шарам і визначено ефективність компостування $\eta_{еф}$ за формулою [10], яка дозволяє розрахувати висоту бурта H та радіус R для забезпечення життєдіяльності бактерій:

$$\eta_{еф} = \frac{q_2}{q_1} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{q_1} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

де q_1 – енергія плодової деревини, МДж/кг;

q_2 – енергія отриманого добрива, МДж/кг;

q_3 – втрати енергії від хіміко-біологічних реакцій в процесі компостування, МДж/кг;

q_4 – втрати енергії від неоднорідності подрібнення тріски, МДж/кг;

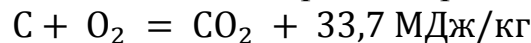
q_5 – втрати енергії з газоподібними продуктами, МДж/кг;

q_6 – втрати енергії в навколишнє середовище, МДж/кг.

Визначимо складові питомих втрат енергії в процесі компостування. Для чого, по-перше, визначимо елементний склад деревини відповідно до [13]. Тоді, при вологості 50% в 1 кг тріски міститься 250 грам вуглецю, а на 4-й стадії переробки, коли загальна маса складає 247 грам при вологості 20% буде 98,8 грам вуглецю. Тобто в реакцію вступило:

$$250 - 98,8 = 151,2 \text{ грам.}$$

Тому, відповідно до стехіометричного рівняння маємо:



Тоді, питомі втрати енергії від хіміко-біологічних реакцій q_3 :

$$q_3 = 33,7 \cdot 0,1512 = 5,096196 \text{ МДж/кг.}$$

Визначимо втрати енергії від нерівномірності подрібнення вхідної сировини q_4 . Для цього використаємо результати експериментального компостування гілок яблуні з розщепленням та без розщеплення [14], які наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Втрати маси деревиною при подрібненні її на тріску розміром від 30 мм до 50 мм

Величина	Рік компостування			
	1 й рік	2 й рік	3 й рік	4 й рік
Втрата маси без розщеплення, Δm_1 , кг	0,092	0,400	0,601	0,714
Втрата маси з розщепленням, Δm_2 , кг	0,135	0,447	0,601	0,753
Частка маси не переробленої деревини, Δ	0,043	0,047	0	0,039

Тоді питомі втрати енергії від нерівномірності подрібнення вхідної сировини складатимуть:

$$q_4 = q_1 \cdot \Delta, \quad (10)$$

де q_1 – вхідна кількість енергії тріски, $q_1 = 10,2$ МДж/кг [2];

Δ – частка маси непереробленої деревини.

За перший рік компостування питомі втрати енергії від нерівномірності подрібнення будуть дорівнювати:

$$q_4 = 10,2 \cdot 0,043 = 0,4386 \text{ МДж/кг.}$$

Результати розрахунків втрати енергії від нерівномірності подрібнення у наступних роках наведено у табл. 2.

При компостуванні газоподібні продукти складають 0,040625 частини, або 4,1% від загальної маси. Тоді, питомі втрати енергії з

газоподібними продуктами q_5 становитимуть:

$$q_5 = q_1 \cdot \Delta, \quad (11)$$

$$q_5 = 10,2 \cdot 0,040625 = 0,414375 \text{ МДж/кг}$$

Таблиця 2 – Втрати енергії від нерівномірності подрібнення ЗГП

Величина	Рік компостування			
	1 й рік	2 й рік	3 й рік	4 й рік
Маса не переробленої деревини Δ , кг	0,043	0,047	0	0,039
Втрати енергії Δq_4 , МДж/кг	0,4386	0,4794	0	0,3978

При компостуванні втрати енергії в навколишнє середовище дорівнюють 10-14,1% від загальної енергії. Тоді, питомі втрати енергії в навколишнє середовище q_6 становитимуть:

$$q_6 = q_1 \cdot \Delta, \quad (12)$$

$$q_6 = 10,2 \cdot 0,141 = 1,4382 \text{ МДж/кг}$$

Визначимо питому кількість корисної енергії q_2 в готовому компості за формулою (4):

$$\begin{aligned} q_2 &= 10,2 - 5,096196 - 0,4386 - 0,414375 - 1,4382 = \\ &= 2,8126 \text{ МДж/кг} \end{aligned}$$

Отримавши значення питомих втрат енергії в процесі компостування, розрахуємо ефективність переробки тріски в буртах $\eta_{\text{еф}}$ за формулою (8):

$$\eta_{\text{еф}} = \left(1 - \frac{5,096196 + 0,4386 + 0,414375 + 1,4382}{10,2} \right) \cdot 100\% = 27,6\%.$$

З цього випливає, що підвищити ефективність процесу компостування можна шляхом зменшення таких питомих втрат, як:

– q_4 – втрати енергії від нерівномірності подрібнення вхідної сировини можна значно зменшити використовуючи більш ефективні методи подрібнення рослинної сировини, які дозволять збільшити питому поверхню, яка приймає участь у біохімічних процесах;

– q_5 – втрати енергії з газоподібними продуктами життєдіяльності бактерій можна зменшити, використовуючи поліетиленовий полог;

– q_6 – втрати теплоти в навколишнє середовище значно зменшити укриваючи бурти матеріалом з низьким коефіцієнтом теплопровідності λ_i (наприклад солома, листя тощо).

Забезпечення визначеної ефективності переробки тріски в буртах може бути досягнуто за такими параметрами бурта: довжина бурта L_6 має дорівнювати 6,4 м, а його площа поверхні F має бути 32,2 м². При таких параметрах бурта в шарі II (рис. 2) утворюється

температура +27°C для оптимальної роботи мезофільних бактерій та +50°C для термофільних.

Висновки.

1. Отримана термодинамічна модель буртового способу компостування тріски плодової деревини дозволяє визначити температурний режим компостування, який має бути забезпечений відповідними геометричними параметрами бурта (довжиною та площею поверхні бурта).

2. Для зниження втрати енергії від неоднорідності тріски та скорочення часу компостування, встановлено, що гілки необхідно подрібнювати на тріску довжиною до 10 мм з наявністю повздовжнього розщеплення, що збільшує її контактну поверхню на 50-59%.

3. Для підвищення енергетичної ефективності способу компостування тріски в буртах необхідно провести наукові дослідження щодо зменшення втрат енергії з газоподібними продуктами життєдіяльності бактерій та в навколишнє середовище.

4. Наведена термодинамічна модель створює підстави для розроблення технології переробки ЗГП у добриво; така технологія буде відповідати вимогам стандарту Global G.A.P., а саме: сприяти раціональному використанню природних ресурсів, мінімізувати ризики розповсюдження хвороб і бур'янів та підвищити показники родючості ґрунтів за рахунок застосування отриманого добрива.

Література:

1. *Global G.A.P.* Интегрированная система управления сельскохозяйственным производством. Растениеводство. Фрукты и овощи. Контрольные точки и критерии соответствия. [Действует с 01.07.2017]. Кельн, 2017. 163 с.

2. *Караєв О. Г.* Наукові основи створення механізованих технологічних комплексів для виробничих систем розсадництва плодкових культур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2017. 41 с.

3. *Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю.* Визначення та опис технічної енергетичної системи з використання відновлювальних ресурсів плодкових насаджень // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 19, т. 2. С. 192-199.

4. Агрокомплексу екологически безопасные удобрения: рекомендации / *В. П. Коваленко* и др. Краснодар: КГАУ, 1998. 17 с.

5. *Рожко А. А.* Компостирование древесно-растительных отходов с учетом факторов, влияющих на параметры компостирования бурта // Лесохозяйственная информация. 2009. № 1/2. С. 31-34.

6. *Гуляев Н. Ф.* Аэрационный, влажностный и тепловой режимы при биотермических процессах обеззараживания твёрдых отбросов // Науч. труды АКХ. 1962. Вып. 14. С. 117-134.

7. *Гуляев Н. Ф., Мирный А. Н.* Термодинамические процессы в установках для компостирования мусора // Науч. труды АКХ. 1970. Вып. 67, № 2. С. 17-24.

8. *Стручаев М. І.* Дослідження технологічних та конструктивних характеристик біогазгенератора // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2010. Вип. 10, т. 3. С. 194-199.

9. *Дідур В. А., Стручаев М. І.* Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві: навч. посібник / за ред. В. А. Дідюра. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

10. *Караев О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаев М. І.* Використання відновлюваних ресурсів садівництва за вимогами стандарту GLOBALG.A.P. // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2019. Вип. 7. С. 76-83.

11. *Лозановская И. Н., Орлов Д. С., Попов П. Д.* Теория и практика использования органических удобрений. Москва: Агропромиздат, 1987. 96 с.

12. Теория тепломассообмена / *С. И. Исаев* и др. Москва, 1979. 495 с.

13. Теплотворность древесины. URL: <http://tehnopost.kiev.ua.13-plotvornost-drevesiny.html> (дата звернення: 28.07.2019).

14. *Линник Н. К., Караев А. И.* Экологическое и энергетическое обоснование эффективности утилизации плодовой древесины // Биоконверсия органических отходов и охрана окружающей среды: материалы 4-Междунар. конгресса. Киев: НАУ, 1996. С. 188-190.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ИЗ ЩЕПЫ СРЕЗАННЫХ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Караев А. И., Бондаренко Л. Ю., Стручаев М. И.

Аннотация – статья посвящена проблеме повышения качества удобрений из срезанных веток плодовых деревьев, что позволяет минимизировать риски для окружающей среды. Приведено обоснование параметров процесса преобразования биомассы трески в буртах. Разработана термодинамическая модель процесса буртового способа компостирования трески плодовой древесины, которая создает основы для разработки технологии переработки древесины в высококачественное

удобрение. Такая технология будет отвечать требованиям стандарта GlobalG.A.P. и способствовать рациональному использованию природных ресурсов.

THERMODYNAMIC MODEL OF PRODUCING FERTILIZERS FROM CHIPS OF CUTTED BRANCHES OF FRUIT TREES

O. Karaiev, L. Bondarenko, M. Struchaiev

Summary

The article presents a thermodynamic model of the process of the bunch method of composting fruit tree chips, the essence of which is the general solution of the equations of heat balance and heat transfer. A scheme for determining heat loss in the process of composting wood chips, which consists of a cylindrical and hemispherical parts of the collar and a diagram of the heat transfer process in the cylindrical part of the collar in layers, from which it is clear that thermal reactions occur in the middle layer, is considered. The results of experimental studies on the determination of the specific energy loss components in the composting process are presented and the potential energy efficiency of the a bunch composting method is calculated, which amounted to 27,6%. Such composting efficiency can be achieved in a bunch with the following parameters: layer thickness from the soil surface 0,1 m, chip layer thickness 1,2 m, layer thickness from air 0.3 m, a bunch length 6,4 m and surface area 32,2 m². With such parameters, the bunch energy losses due to heat transfer to the environment do not exceed the calculated energy losses. At the same time, the optimum temperature regime is formed in the bunch layer where chip transformation processes take place: for mesophilic bacteria, the temperature is 27°C, and for thermophilic bacteria it is 50°C. It is proved that the specific amount of useful energy in the finished compost is 2,9 MJ/kg, and to reduce energy loss from chip heterogeneity and shorten composting time, the branches must be crushed to particles up to 10 mm long with the presence of longitudinal splitting, which increases its contact surface by 50-59%. It is noted that the implementation of the a bunch method of composting cod according to the given model will meet the requirements of the Global G.A.P. standard, namely: to promote the rational use of natural resources, minimize the risks of the spread of diseases and weeds, and increase soil fertility in gardens through the use of the obtained fertilizer.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ ШАРУ ҐРУНТУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ РОЗПУШУВАЧА

Леженкін О. М., д. т. н.,

Серий І. О., інж.,

Коломієць С. М., к. т. н.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Рубцов М. О., к. т. н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*

тел. (098) 89-00-313

Анотація – стаття присвячена теоретичним дослідженням додаткових елементів ґрунтообробного робочого органу, а саме аналізу руху шару ґрунту по робочій поверхні нерухомих розпушувачів.

Розглянуто рух невільної матеріальної точки по криволінійній поверхні, визначені сила тертя та сила нормальної реакції. Складено розрахункову схему сил діючих на частку ґрунту при її русі по криволінійній робочій поверхні та за допомогою рівнянь Лагранжа для невільної матеріальної точки отримана система диференціальних рівнянь. Розв'язання цієї системи дає можливість визначити тяговий опір.

Ключові слова – плоскоріз, розпушувач, рух ґрунту, диференціальні рівняння, сили, рівняння зв'язку, невільний рух, тяговий опір.

Постановка проблеми. Останнім часом в Україні при вирощуванні сільськогосподарських культур має місце тенденція до збільшення частки безполицевого обробітку ґрунту в порівнянні з оранкою. При цьому, одним із ефективних знарядь для обробітку ґрунту в умовах Півдня України виступає культиватор-плоскоріз. Але для забезпечення необхідної за агротехнічними вимогами якості кришення ґрунту останнім на всій глибині орного шару використовують додаткові робочі органи. Вони або суттєво ускладнюють конструкцію існуючих робочих органів, або підвищують питомі енерговитрати на подолання машинно-тракторними агрегатами (МТА) тягового опору зазначених знарядь до

рівня орних МТА. Тому існує народногосподарська проблема зниження питомих енерговитрат на подолання тягового опору ґрунтообробних МТА.

У зв'язку з вищевикладеним виникає задача розробки робочого органу з нерухомими додатковими елементами – розпушувачами.

Аналіз останніх досліджень. Нині можна з впевненістю констатувати факт існування великої кількості теоретичних досліджень плоскорізальних робочих органів, включаючи дослідницькі роботи, наукові публікації та дисертації, присвячені цій тематиці [1-13]. На підставі аналізу теоретичних досліджень визначені напрями, в яких йде вдосконалення плоскорізальних робочих органів (рис. 1).

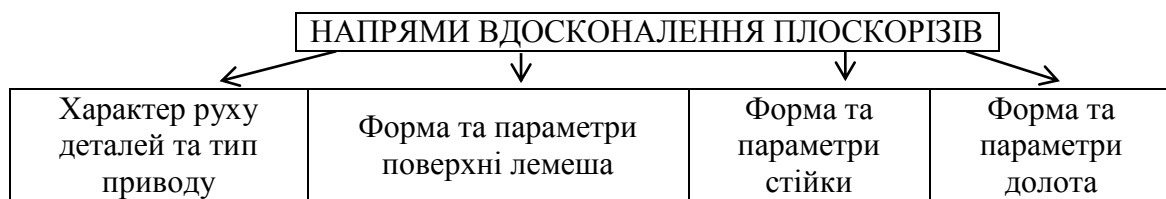


Рис. 1. Напрями вдосконалення плоскорізів

Варто відзначити, що найбільший вплив на показники використання плоскорізальних робочих органів має саме форма та параметри поверхні лемеша, цей факт підтверджує й те, що більшість досліджень лежать саме в цій площині.

Але, якщо розглянути теоретичні дослідження, то рух шару ґрунту по криволінійній поверхні розпушувача розглянутий не в достатньому обсязі, а саме це питання є основним при обґрунтуванні параметрів розпушувачів.

Формулювання цілей статті. Побудувати математичну модель руху ґрунту по криволінійній поверхні розпушувача, розв'язок якої дає можливість теоретично визначити тяговий опір ґрунтообробного знаряддя.

Основна частина. Досліджуваний робочий орган з розпушувачами має криволінійну поверхню, тому для теоретичного аналізу використовуємо рівняння Лагранжа I роду для невільного руху матеріальної точки. У загальному вигляді воно має наступний математичний вираз [14]

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx} + N_x + F_x^{\text{тер}} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky} + N_y + F_y^{\text{тер}} \end{cases}; \quad (1)$$

де m – маса шару ґрунту, кг;

x, y – закон переміщення шару ґрунту вздовж рухомої системи координат XOY ;

N_x, N_y – проекції нормальної реакції на осі X та Y, Н;

$F_x^{\text{тер}}, F_y^{\text{тер}}$ – проекції сили тертя на осі X та Y, Н.

Складемо розрахункову схему сил діючих на частку ґрунту при її русі по криволінійній робочій поверхні (рис. 2).

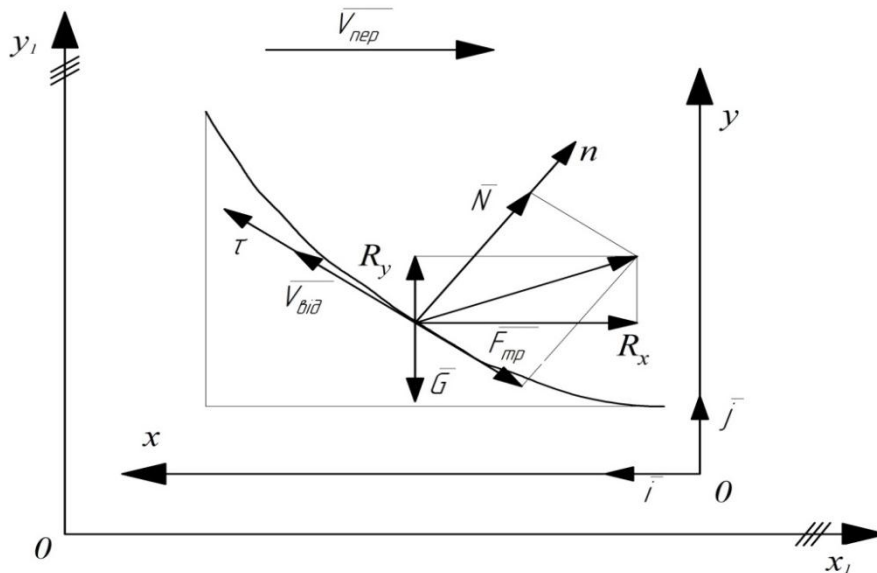


Рис. 2. Схема сил діючих на частку ґрунту при її русі по криволінійній робочій поверхні розпушувача

Визначимо проекції нормальної реакції та проекції сили тертя, підставивши їх у рівняння (1).

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2N \cdot k_1 x}{\sqrt{4k_1^2 x^2 + 4V_{\text{пер}}^4}} - \frac{N \cdot f}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2N \cdot V_{\text{пер}}^2}{\sqrt{4k_1^2 x^2 + 4V_{\text{пер}}^4}} - \frac{N \cdot f}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} \cdot \frac{dy}{dt}.$$

де $V_{\text{пер}}$ – переносна швидкість, тобто швидкість руху агрегату, м/с;

f – коефіцієнт тертя;

k_1 – інтенсивність впливу, м/с².

Приєднавши до двох отриманих рівнянь зв'язку отримаємо систему з трьох рівнянь:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2N \cdot k_1 x}{\sqrt{4k_1^2 x^2 + 4V_{\text{пер}}^4}} - \frac{N \cdot f}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} \cdot \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2N \cdot V_{\text{пер}}^2}{\sqrt{4k_1^2 x^2 + 4V_{\text{пер}}^4}} - \frac{N \cdot f}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} \cdot \frac{dy}{dt} \\ 2V_{\text{пер}}^2 y - k_1 x^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

З практичної точки зору основним параметром, який входить до цих рівнянь є нормальна реакція, яку можна визначити після

розв'язання рівнянь (3). В загальному вигляді її можна записати наступним чином:

$$N = \frac{-m}{\sqrt{x^2+a^2}} \cdot \left(C_1 \frac{e^{-f \arctg \frac{x}{a}}}{\sqrt{x^2+a^2}} \right)^2 \quad (4)$$

де a – умовне позначення, $a = \frac{V_{\text{пер}}^2}{k_i}$, м;

C_1 – постійна інтегрування, м²/с.

Після визначення постійної інтегрування рівняння (4) приймає вигляд:

$$N = \frac{-0,3}{\sqrt{x^2+a^2}} \cdot \left(0,002 \cdot \frac{e^{-0,3 \cdot \arctg \frac{x}{a}}}{\sqrt{x^2+a^2}} \right)^2 \quad (5)$$

Отримавши значення N маємо змогу розрахувати значення сили тертя $F_{\text{тер}}$, та тяговий опір P :

$$F_{\text{тер}} = f \cdot N, \quad (6)$$

$$\bar{P} = \bar{N} + \overline{F_{\text{тер}}}. \quad (7)$$

Висновки. Розроблена математична модель руху частки ґрунту по криволінійній поверхні розпушувача у вигляді системи диференціальних рівнянь, розв'язання якої дає можливість визначити тяговий опір.

Література:

1. Кушнарєв А. С., Артёмов Н. П. Биосферные основы повышения продуктивности земледелия // Інженерія природокористування. 2015. № 1 (3). С. 16-22.

2. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.

3. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков, 2007. 396 с.

4. Корабельский В., Кравчук В., Павлоцкая В. Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия // Техника АПК. 2001. № 7-8. С. 24-26.

5. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалю. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.

6. Токушев Ж. Е. Теория и расчет орудий для глубокого рыхления плотных почв. Москва: Инфра-М, 2003. 300 с.

7. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В. Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза //

Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, 2016. № 6 (169). С. 50-59.

8. Попов И. В. Разработка и обоснование параметров машины для плоскорезной обработки почвы с одновременным разуплотнением подпахотного слоя: автореф. дис... канд. техн. наук. Оренбург, 1996. 22 с.

9. Путрин А. С. Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01. Оренбург, 2003. 460 с.

10. Хмура А. Н. Совершенствование конструкции рабочего органа плоскореза-глубокорыхлителя: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2012. 25 с.

11. Токушев Ж. Е. Теория и расчет орудий для глубокого рыхления плотных почв. Москва, 2003. 132 с.

12. Зозуля В. В., Мартыненко А. В., Лукин А. Н. Механика сплошной среды. Харьков, 2003. 600 с.

13. Seryu I. O. The background basic soil tillage by creating deformation stretching, bending and shear // Концептуальні шляхи розвитку науки: матеріали II-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 14-15 квітня 2017). Київ, 2017. Ч. I. С. 75-76.

14. Воронков И. М. Курс теоретической механики. Москва: Наука, 1965. 596 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ СЛОЯ ПОЧВЫ ПО КРИВОЛИНЕЙНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЫХЛИТЕЛЯ

А. Н. Леженкин, И. А. Серый, С. М. Коломиец, Н. А. Рубцов

Аннотация – одним из основных эффективных орудий для обработки почвы в условиях Украины – есть культиватор плоскорез. Для обеспечения необходимой по агротехническим требованиям качества крошения почвы предлагается устанавливать дополнительные элементы – разрыхлители. Однако в теоретическом плане эти элементы не изучены в полной мере. Поэтому данная статья посвящена теоретическим исследованиям дополнительных элементов почвообрабатывающего рабочего органа, а именно анализу движения слоя почвы по рабочей поверхности неподвижных разрыхлителей.

Для теоретического анализа рассмотрено движение несвободной материальной точки по криволинейной рабочей поверхности рыхлителя.

THEORETICAL ANALYSIS OF MOVEMENT OF THE SOIL LAYER ON THE CURVED WORKING SURFACE OF THE CREATOR

O. Lezhenkin, I. Seryy, S. Kolomiyets, M. Rubtsov

Summary

Additional working bodies are used by the latter throughout the depth of the arable layer to ensure the quality of soil cover required by the agrotechnical requirements.

One of the main effective tools for tillage in Ukraine is a flat-cutter cultivator. In order to ensure the quality of crumbling of the soil required by the agrotechnical requirements, it is proposed to install additional elements – baking powder.

The purpose of the following studies is to construct a mathematical model of the motion of a soil particle along a curved surface of a baking powder, the solution of which allows to theoretically determine the traction resistance of a tillage tool.

However, in theoretical terms, these elements are not fully understood. Therefore, this article is devoted to theoretical studies of additional elements of the soil cultivating working body, namely the analysis of the movement of the soil layer on the working surface of stationary baking powder.

For theoretical analysis, the motion of a non-free material point along the curved working surface of the cultivator is considered. At the first stage of research, the forces acting on the soil layer taken as a material point were identified, on the basis of which a calculation scheme was compiled.

Then, using the Lagrange equations for a non-free material point, a system of differential equations is obtained. The solution of this system makes it possible to determine the normal reaction, which allows you to calculate traction resistance.

The researches made it possible to draw the following conclusions: a mathematical model of the motion of a particle of the soil along the curved surface of the baking powder was developed in the form of a system of differential equations, the solution of which makes it possible to determine the traction resistance.

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ КОМПОСТНОЇ СУМІШІ В ЦИЛІНДРИЧНОМУ РЕШЕТІ

Леженкін О. М., д. т. н.,

Чаплинський А. П., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Науменко М. М., к. т. н.,

Гурідова В. О., інж.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Тел. (098) 89-00-313

Анотація – стаття присвячена теоретичним дослідженням руху суміші компосту у циліндричному решеті по його робочий поверхні.

Проаналізовано рух масиву суміші по циліндричній поверхні, визначені сили, які діють на масив та складена система диференціальних рівнянь руху.

У зв'язку з особливостями фізико-механічних властивостей розглянуто конструкцію барабана як з горизонтальною віссю обертання, так і з нахилоною під кутом до горизонту, а також представлена модель взаємодії компостної суміші з поверхнею барабана при сепарації.

Схема системи «компостна суміш – циліндричне решето» передбачає, що масив суміші рухається як єдине ціле під дією сил взаємодії з решетом, які виникають на контактній поверхні, сил ваги та відцентрових сил, що виникають при обертанні.

Прийнято припущення, що витрата компостної суміші, що потрапляє в решето дорівнює сумарній витраті компостної суміші при сепаруванні.

Отримано диференціальні рівняння, що описують рух компостної суміші по циліндричному решеті. Аналіз руху може бути основою для обґрунтування технологічних, геометричних і кінематичних характеристик циліндричного барабан, і вибору його раціонального режиму роботи.

Ключові слова – компост, компостна суміш, циліндричне решето, барабан нахилений, барабан горизонтальний, рівняння диференціальне.

Постановка проблеми. В існуючих літературних джерелах не достатньо висвітлене питання сепарації компостної суміші в зв'язку з новизною процесу виробництва.

Сепарація компостної суміші має декілька призначень:

- видалення твердих елементів (каміння, скло, метал й інше) з компостної суміші;
- скорочується об'єм, що зручно при транспортуванні і зберіганні;
- щільні шари компосту не утворюються (особливо при внесенні не потрібні додаткові перемішування);
- можливість значно точного аналізу складових елементів і як слідство більш точного терміну внесення;
- видаляються тверді елементи і вуглець, а це призводить до зменшенню втрат азоту.

Суттєва особливість і проблема сепарації компостної суміші визначеної фракції, пакування у мішки, пакети, тару яка необхідна для виробництва органічної овочевої продукції, квітів, – висока вологість, яка досягає 30...35% (для зрілого компосту).

Дослідження руху компостної суміші в циліндричному решеті, що обертається навколо осі, є важливим для обґрунтування його геометричних і кінематичних характеристик, необхідних для забезпечення заданого режиму його роботи та пропускної здатності барабану під час сепарації.

Аналіз останніх досліджень. В літературі розглядаються балістичні і пневматичні процеси сепарації. Досить часто для сепарації компостної суміші застосовується циліндричне решето, можливий варіант конструкції якого наведено на рис. 1.



Рис. 1. Конструкція установки для сепарації компостної суміші (варіант)

Дослідженням процесу технології прискореного компостування органічних відходів тваринного походження в літературних джерелах приділяється достатньо уваги [1-5], проте відсутній аналіз взаємодії компостної суміші з поверхнею циліндричного решета, в якому вона знаходиться, та математична модель взаємодії.

В деякому приближенні можна розглянути систему «компостна суміш – циліндричний барабан» як сипкий матеріал [6, 7], для якого математична модель до аналізу його руху створюється на основі дослідження руху окремої частини компостної суміші. Проте залишається не висвітленим питання, яким чином така модель може бути використана для аналізу руху суміші.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної роботи є розробка математичної моделі взаємодії компостної суміші з циліндричним барабаном, яка може забезпечити дослідження залежності продуктивності решета від кінематичних та геометричних характеристик системи.

Основна частина. Для решета, вісь обертання якого є горизонтальною, можлива реалізація стаціонарного процесу сепарування за схемою, наведеною на рис. 2. При проковзуванні матеріалу в решеті знизу на нього діє розподілена по площі взаємодії сила тертя F_m та сили ваги P .

Будемо вважати, що масив компостної суміші, переріз якого обмежено хордою AB зверху та дугою AB знизу, рухається в решеті при його обертанні не деформуючись із нижнього положення, при якому вісь симетрії (OC на рис. 2) займає вертикальне положення OC_0 .

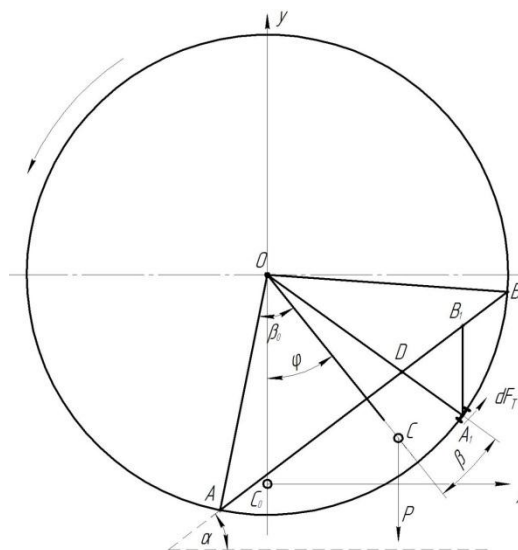


Рис. 2. Схема до аналізу руху суміші в циліндричному решеті

Диференціальне рівняння обертального руху компостної суміші відносно вісі решета має вигляд [8]:

$$J_0 \ddot{\varphi} = M_0(F_T) - P \cdot OC \sin \varphi, \quad (1)$$

де J_0 – полярний момент інерції компостної суміші, перетин якого вважається незмінним;

$\ddot{\varphi}$ – кутове прискорення компостної суміші при обертанні;

$M_0(F_T)$ – момент сил тертя, які виникають між компостною сумішшю і решетою відносно вісі решета;

P – вага компостної суміші;

OC – відстань від центра перетину решета до центра ваги перетину компостної суміші;

φ – кут обертання.

При визначенні сил тертя приймаємо до уваги, що вони будуть виникати як від гідростатичного тиску компостної суміші на решето, так і від відцентрових сил, які діють на компостну суміш при обертанні.

Складову сил тертя, яка залежить від гідростатичного тиску матеріалу в довільній точці A (рис. 2), що визначається кутом $(\varphi + \beta)$, обчислимо як

$$dF_{TP} = \gamma \cdot f \cdot H \cdot l \cdot ds, \quad (2)$$

де γ – питома вага матеріалу;

H – відстань від точки A до вільної поверхні перетину компостної суміші (A_1B_1 на рис. 1);

l – довжина решета;

ds – елементарна ділянка дуги перерізу решета, в центрі якої знаходиться точка A_1 .

Враховуючи, що $ds = R \cdot d\beta$, для сили тертя на ділянці ds отримаємо:

$$dF_{TP} = f \cdot \gamma \cdot H \cdot l \cdot R \cdot d\beta \quad (3)$$

Для висоти H з трикутника ADB можна отримати:

$$H = R \left(1 - \frac{\cos \beta_0}{\cos \beta} \right) \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \varphi} = R \left(\frac{\cos \beta}{\cos \varphi} - \frac{\cos \beta_0}{\cos \varphi} \right) = \frac{R}{\cos \varphi} (\cos \beta - \cos \beta_0) \quad (4)$$

Тоді:

$$dF_{TP} = f \cdot \gamma \cdot l \cdot R^2 \cdot \left(1 - \frac{\cos \beta_0}{\sin \beta} \right) \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \varphi} d\beta = \gamma \cdot f \cdot l \cdot R^2 \cdot \frac{\cos \beta - \cos \beta_0}{\cos \varphi} \quad (5)$$

Відцентрова сила, яка припадає на дугу ds , визначається за схемою, наведеною на рис. 3.

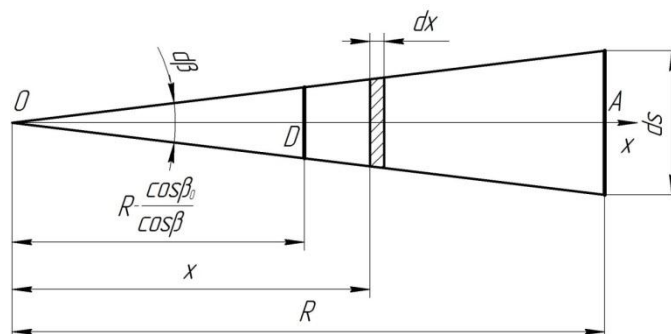


Рис. 3. Схема до визначення відцентрової сили, що припадає на елементарну дугу ds

На елемент маси з розмірами $x \times d\beta \times dx \times l$ (на рис. 3 його перетин заштриховано) діє відцентрова сила

$$\Delta \cdot dF_v = \frac{\gamma \cdot l \cdot x \cdot d\beta \cdot dx \cdot \omega^2 \cdot x}{g} \quad (6)$$

Звідки

$$dF_v = \frac{1}{g} \int_{R \frac{\cos \beta_0}{\cos \beta}}^R \gamma \cdot l \cdot \omega^2 \cdot d\beta \cdot x^2 \cdot dx = \frac{1}{3g} \cdot \gamma \cdot l \cdot \omega^2 \cdot R^3 \cdot \left(1 - \frac{\cos^3 \beta_0}{\cos^3 \beta} \right) d\beta \quad (7)$$

Таким чином, сумарна сила тертя, яка припадає на ділянку шириною ds , визначається як

$$dF_T = f \cdot \gamma \cdot l \cdot R^2 \cdot \left[\frac{R \cdot \omega^2}{3g} \cdot \left(1 - \frac{\cos^3 \beta_0}{\cos^3 \beta} \right) + \frac{\cos \beta - \cos \beta_0}{\cos \varphi} \right] d\beta \quad (8)$$

Для моменту сил тертя, розподілених по площі взаємодії суміші з решето, отримано:

$$M_0(F_T) = f \cdot \gamma \cdot l \cdot R^3 \cdot \left\{ \frac{R\omega^2}{3g} [2\beta_0 - \sin \beta_0 \cdot \cos \beta_0 - \frac{\cos^3 \beta_0}{2} (\ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta_0}{2} \right) \right| - \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta_0}{2} \right) \right|)] + 2 \frac{\sin \beta_0}{\cos \varphi} - 2 \frac{\cos \beta_0}{\cos \varphi} \beta_0 \right\} \quad (9)$$

За відомої питомої ваги компостної суміші γ , площі перетину суміші S та довжини решета l , для моменту її ваги та для моменту її інерції відносно осі обертання решета отримано відповідно:

$$\begin{aligned} P \cdot OC \cdot \sin \varphi &= \gamma \cdot R^2 \left(\beta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\beta_0 \right) \cdot \frac{4}{3} \frac{R \sin^3 \beta_0}{(2\beta_0 - \sin 2\beta_0)} \cdot \sin \varphi = \\ &= \gamma \cdot \frac{2}{3} R^3 \sin^3 \beta_0 \cdot l \cdot \sin \varphi, \end{aligned} \quad (10)$$

$$I_0 = \frac{\gamma l R^4}{g} \left(\beta_0 - \frac{1}{3} \sin 2\beta_0 - \frac{1}{12} \sin 4\beta_0 \right) \quad (11)$$

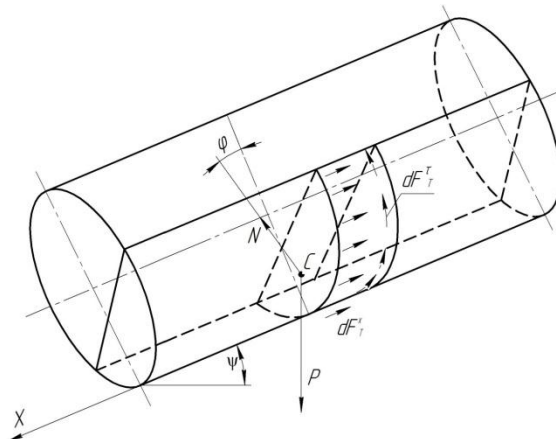


Рис. 4. Схема сил тертя, що діють на елементарний об'єм компостної суміші в решеті з нахиленою до горизонту віссю обертання

Підставляючи вирази для геометричних характеристик перерізу суміші та для навантаження, яке діє на суміш, формули (9), (10), і (11), в рівняння (1), після перетворень, отримаємо

$$\begin{aligned} & \frac{R}{g} \left(\beta_0 - \frac{1}{3} \sin \beta_0 - \frac{1}{12} \sin 4\beta_0 \right) \cdot \ddot{\varphi} = \\ & = f \left\{ \frac{R\omega^2}{3g} \left[2\beta_0 - \sin \beta_0 \cos \beta_0 - \frac{\cos^3 \beta_0}{2} \ln \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta_0}{2} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta_0}{2} \right)} \right] + 2 \frac{\sin \beta_0}{\cos \varphi} - 2 \frac{\cos \beta_0}{\cos \varphi} \beta_0 \right\} - \quad (12) \\ & - \frac{2}{3} \sin^3 \beta_0 \sin \varphi. \end{aligned}$$

Диференціальне рівняння (12) дає можливість аналізувати рух компостної суміші в решеті, вісь якого є горизонтальною. При обертанні решета навколо осі, нахиленої до горизонту під деяким кутом (рис.4), рух компостної суміші будемо розглядати як складеним із обертального навколо осі і поступального вздовж осі x .

Диференціальне рівняння обертального руху матиме вигляд

$$I\ddot{\varphi} = M_0(F_T^\tau) - P \cdot OC \cdot \sin \varphi \cos \psi, \quad (13)$$

де ψ – кут нахилу решета;

$M_0(F_T^\tau)$ – момент сил тертя.

Диференціальне рівняння руху компостної суміші вздовж решета має вигляд

$$m\ddot{x} = P \sin \psi - F_T^x, \quad (14)$$

де m – маса компостної суміші;

ψ – проекція прискорення на вісь x ;

F_T^x – рівнодійна сил тертя, направлених вздовж вісі решета.

Враховуючи викладене, для диференціальних рівнянь руху компостної суміші після остаточного вирішення будемо мати:

– для обертальної складової руху:

$$\begin{aligned} & \frac{R}{g} \left(\beta_0 - \frac{1}{3} \sin \beta_0 - \frac{1}{12} \sin 4\beta_0 \right) \cdot \ddot{\varphi} = \\ & = f \left\{ \frac{R\omega^2}{3g} \left[2\beta_0 - \sin \beta_0 \cos \beta_0 - \frac{\cos^3 \beta_0}{3} \ln \left| \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta_0}{2} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta_0}{2} \right)} \right| \right] + 2 \frac{\sin \beta_0 - \beta_0 \cos \beta_0}{\cos \varphi \cos \psi} \right\} \times \quad (15) \\ & \times \frac{R\omega}{\sqrt{\dot{x}^2 + R^2 \omega^2}} - \frac{2}{3} \sin^3 \beta_0 \sin \varphi \cdot \cos \psi; \end{aligned}$$

– для поступальної складової руху суміші вздовж осі обертання:

$$\begin{aligned} & \ddot{x} \frac{l\gamma R^2}{g} \left(\beta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\beta_0 \right) = \\ & = f \gamma l R^2 \left\{ \frac{R\omega^2}{3g} \left[2\beta_0 - \sin \beta_0 \cos \beta_0 - \frac{\cos \beta_0}{3} \ln \left| \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta_0}{2} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta_0}{2} \right)} \right| \right] + 2 \frac{\sin \beta_0 - \beta_0 \cos \beta_0}{\cos \varphi \cos \psi} \right\} \times \quad (16) \\ & \times \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + R^2 \omega^2}} + l\gamma R^2 + \left(\beta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\beta_0 \right) \sin \psi. \end{aligned}$$

Висновки. Запропонована математична модель взаємодії масиву компостної суміші з барабаном, вісь обертання якого горизонтальна або нахилена під деяким кутом до горизонту.

Складені диференціальні рівняння руху, розв'язок яких дозволяє визначати швидкість і час сходу компосту при його сепарації в решеті.

Наведена математична модель взаємодії масиву компостної суміші з барабаном може бути використаною як при обґрунтуванні геометричних і кінематичних характеристик решета, так і при виборі раціонального режиму його роботи.

Література:

1. Шевченко І. А. Результати експериментальних досліджень змішувача-аератора компостів // Зб. наук. праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». Вип. 2 (8). Запоріжжя: ІМТ НААН, 2011. С. 80-88.

2. *Шевченко И. А.* Обоснование внешнего радиуса барабана аэратора компостных смесей // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків, 2013. Вип. 132. С. 292-296.

3. *Шевченко І. А.* Механіко-математична модель процесу розвантаження барабанного органу для змішування компостних матеріалів та механічної аерації // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. Зб. наук. праць Інституту механізації тваринництва УААН. Запоріжжя: ІМТ УААН. 2010. Вип. 1 (5, 6). С. 248-265.

4. *Шевченко І.* Шляхи використання органічних відходів свинарства // Тваринництво України: Наукометр. журн. Нац. ун-т біоресурсів та природокористування України. Київ: Нива, 2018. С. 16-22.

5. *Харитонов В. І.* Використання змішувача-аэратора з устаткуванням для зволоження при отриманні збалансованих органічних добрив // Зб. наук. праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». Вип. 1 (7). Запоріжжя: ІМТ НААН, 2011. С. 189-196.

6. *Першин В. Ф.* Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. Москва: Машиностроение, 2009. 220 с.

7. *Романов А. А.* Моделирование и оптимизация процесса в аппарате многоступенчатой сепарации зернистых материалов по технологии «Мультисег»: дис. канд. техн. наук. Тамбов, 2002. 147 с.

8. *Яблонский А. А.* Курс теоретической механики. Часть 1. Москва: Высшая школа, 1966. 438 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОМПОСТНОЙ СМЕСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕШЕТЕ

Леженкин А. Н., Чаплинский А. П., Науменко Н. Н., Гуридова В. А.

Аннотация – статья посвящена теоретическим исследованиям движения смеси компоста в цилиндрическом решете по его рабочей поверхности.

Проанализировано движение массы смеси по цилиндрической поверхности. Определены силы, которые действуют на массу и составлена система дифференциальных уравнений движения.

В связи с особенностями физико-механических свойств рассмотрена конструкция барабана, как с горизонтальной осью вращения, так и наклоненной под углом к горизонту, а также

представлена модель взаимодействия компостной смеси с поверхностью барабана при сепарации.

THE SATOCOM MIX IN THE CELINDRIC RESHET

O. Lezhenkin, A. Chaplinsky, M. Naumenko, V. Guridova

Summary

The problems of using the liquid residue of organic matter after fermentation in a biogas plant are in limiting the periods of allowed entry into the field, and as a result, it requires the necessary facilities for the accumulation of raw materials and high performance distribution means. In addition, there is the problem of safe application to prevent nitrification – soil contamination with nitrogen compounds.

The purpose of the work is the use of a liquid and semi-liquid fraction of composted chicken manure substrate after a biogas plant to increase the potential fertility of unproductive soils and ensure an environmentally friendly environment.

The research was conducted on the lands rented by LTD «Oril-Lider». The methodology for determining the chemical composition of the liquid fraction by the basic methods.

The research program included the determination of the hydrological properties of the soil on the introduction of a liquid fraction and the determination of the sorption capacity of soils by nitrate and ammonium nitrogen.

Conclusion, distribution and distribution of compounds in the upper soil layer should be: 25-50 cm, which prevents filtration to groundwater level at a spread rate of 55-75 t / ha. The potential fertility of unproductive soils is up to 70-80 kg / ha of wheat.

The studies conducted allowed us to draw the following conclusions:

1. A mathematical model for the interaction of an array of compost mixture with a drum whose axis of rotation is horizontal or inclined at some angle to the horizon is proposed.

2. Differential equations of motion are compiled, the solution of which allows to determine the speed and time of descent of compost during its separation in the sieve.

3. The mathematical model of interaction of the compost mixture array with the drum can be used both in substantiating the geometric and kinematic characteristics of the sieve, and in choosing a rational mode of its operation.

*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

УДК 620.92

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-130-141

**ВИКОРИСТАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
МОДУЛІВ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ
ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

Галько С. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

Анотація – в роботі розглядається проблема можливості створення локальних енергетичних мереж для зарядки акумуляторів електромобілів на існуючих стаціонарних автозаправних станціях (АЗС) на основі відновлюваних джерел, з метою енергозбереження традиційних джерел енергії. Запропоновано створення таких мереж на основі ефективних сонячних електростанцій (СЕС), які встановлюються на даху адміністративної будівлі АЗС.

Для обґрунтування можливості використання СЕС для зарядки акумуляторних батарей електромобілів на АЗС, проведений кореляційний аналіз добових графіків навантаження (ДГН) трьох приватних СЕС, що встановлені на дахах приватних споруд, розташованих поруч з АЗС “WOG” м. Мелітополь Запорізької обл., і ДГН АЗС “WOG”. Експериментальні ДГН приватних СЕС та АЗС “WOG” отримані за три робочі дні жовтня 2018 р. Визначено коефіцієнти парної кореляції Пірсона за світовий день між еквівалентними ДГН дахових СЕС та ДГН АЗС “WOG”, які мають високі значення, тобто маємо високий кореляційний зв'язок. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про можливість використання дахових СЕС для зарядки акумуляторів електромобілів на стаціонарних АЗС.

З метою підвищення загального коефіцієнта корисної дії (ККД) СЕС, замість традиційних плоских сонячних батарей, запропоновано використовувати СЕС з когенераційними фотоелектричними модулями (ФЕМ) циліндричної форми, що охолоджуються рідиною. Це дозволить одночасно отримувати електричну і теплову енергію для господарчих потреб.

Ключові слова – акумулятор, електромобіль, сонячна електростанція, фотоелектричний модуль, коефіцієнт кореляції, когенераційний фотомодуль, добові графіки навантаження.

Постановка проблеми. Загалом в Україні за даними Міністерства внутрішніх справ станом на 1.05.2018 р. зареєстровано 7439 електромобілів, що майже вдвічі перевищує показник минулого року (до 2016 р. – 418 од., 2016 р. – 1521 од., 2017 р. – 3818 од.), повідомляє Autogeek. Україна – в п'ятірці країн щодо ринку електромобілів. У 2019 році попит на електромобілі буде ще більший – парламент знизив податки, і купити електрокар стало дешевше на 17%. До 2035 року кожний четвертий автомобіль в Україні буде електричним, прогнозує центр Разумкова [1].

Близько 56% електромобілів були зареєстровані в Києві, 1106 машин – в Одеській області, і 949 – в Харківській. Водночас можна зазначити, що в Україні відчувається гостра нестача швидких зарядних станцій – їх в десять разів менше, ніж звичайних [2].

Переорієнтація на електромобілі – глобальний тренд. Країни Європи, Китай і Індія заявили, що відмовляться від продажу машин з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) через 10-25 років. Да і самі автовиробники почали орієнтуватися на виробництво гібридів і електромобілів. Наприклад, Volvo заявила, що у 2019 році в усіх нових машин буде акумулятор і електродвигун. Плани переходу на електричні приводи оголосили BMW, Daimler і Volkswagen Group [1].

Світові продажі електричних і гібридних автомобілів з кожним роком збільшуються мінімум удвічі. Найбільше електромобілів в Китаї. На другому місці – Європа, особливо скандинавські країни. За результатами продажів 2017 року на дорогах Землі роз'їжджало 3,1 млн. електромобілів. Перше півріччя 2018 року додало до цієї цифри ще 800 тисяч. До кінця поточного року очікується, що кількість екомобілів перетне позначку в 5 млн. [1].

Відсутність інфраструктури є одним із головних бар'єрів для розвитку ринку електромобілів в Україні. Та й вартість самих акумуляторних батарей завелика. Але вже помітні зміни на краще – заправок стає все більше. За їх будівництво взялися великі корпорації, зокрема – ДТЕК. По Одеській, Київській та Харківській областях вже є непогане охоплення. Напевно, саме тому “зелені авто” тут продаються успішніше [3].

Для гарячого водопостачання на сучасних автозаправних станціях (АЗС), наприклад, WOG, SOCAR, KLO, Paralel та інших, використовуються різноманітні електричні бойлери для підігрівання води, що вимагає додаткових експлуатаційних витрат.

Аналіз останніх досліджень. Головною перевагою

електромобілів є можливість зарядки їх акумуляторних батарей в будь-якому місці, де є звичайна побутова електромережа. Для цього використовується зарядний пристрій, вмонтований в кожен електромобіль, і зарядний шнур. Самий простий спосіб зарядки електромобіля в гаражі від звичайної розетки 220/230 Вольт, 16 Ампер.

В Україні на 1.01.2019 р. нараховується 1179 станцій підзарядки електромобілів (в 2015 р. було 62 станції, в 2016 р. – 287, в 2017 р. – 577). Особливо активно мережа електрозаправок розвивається в Чернігівській, Полтавській і Харківській областях. Також відносно рівномірно покрита зарядками Західна Україна. Наявність електрозаправок уже чітко простежується вздовж головних автомагістралей: траси Київ-Полтава-Харків, Київ-Одеса, Харків-Дніпро-Запоріжжя-Мелітополь-Азовське море. Інфраструктуру зарядних станцій в Україні складають як станції, спеціалізовані тільки на підзарядці електрокарів, відомих АЗС, так і позамережеві зарядки біля ресторанів, готелів та ін. закладів [1].

Деякий науковий інтерес викликає окремий спосіб зарядки електрокара від системи сонячних батарей, які розташовані на даху адміністративних будівель АЗС [2, 3].

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою досліджень є обґрунтування можливості використання сонячних когенераційних модулів на АЗС для зарядки акумуляторів електромобілів та гарячого водопостачання.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- проведені експериментальні дослідження трьох приватних СЕС з різною встановленою потужністю і орієнтацією у просторі та отримані ДГН за три робочі дні;
- на основі статистичних даних споживання електроенергії за тиждень побудовані ДГН АЗС “WOG”;
- виконаний кореляційний аналіз ДГН трьох приватних СЕС і АЗС “WOG” та визначені коефіцієнти парної кореляції;
- для отримання електричної і теплової енергій розроблений і виготовлений експериментальний зразок когенераційного фотоелектричного модуля циліндричної форми, що охолоджується;
- розроблена структурна схема присадибної СЕС з когенераційними фотоелектричними модулями для використання на АЗС для зарядки акумуляторних батарей та гарячого водопостачання.

В результаті поставлених задач отримані значення коефіцієнтів парної кореляції Пірсона ДГН СЕС і АЗС, які мають високі значення, що дає можливість стверджувати про можливість використання СЕС на АЗС для зарядки акумуляторних батарей електромобілів.

Основна частина Стрімкий попит на “сонячну” електроенергію пояснюється прийнятим у 2015 р. Законом України №514-VIII, яким надано вигідний “зелений” тариф власникам сонячних електростанцій (СЕС) із прив’язкою до курсу євро. Це означає, що власник СЕС може продавати надлишок згенерованої “чистої” електроенергії в мережу і швидко повертати кошти, вкладені в СЕС без застережень щодо інфляції. Держава викупує за стимулюючим “зеленим” тарифом тільки надлишки електроенергії – різницю між відпущеною в електромережу “сонячною” електроенергією і власним споживанням. Чим вище потужність СЕС, тим більше електрики може продати її власник. А значить – тим швидше він зможе повернути кошти, які були вкладені в придбання устаткування [2].

Переходити на “сонячну” електроенергію також допомагає влада на місцях. Зокрема, на Львівщині з обласного бюджету повертають 10% суми кредиту на сонячні панелі, а на Житомирщині – 20% суми кредиту. У м. Хмельницькому та м. Броди (Львівська обл.) з міського бюджету повертають 10% вартості робіт із встановлення СЕС.

Для обґрунтування можливості використання СЕС для зарядки акумуляторних батарей на АЗС, був проведений кореляційний аналіз добових графіків навантаження (ДГН) трьох приватних СЕС, що встановлені на дахах приватних споруд, розташованих поруч з АЗС “WOG” м. Мелітополь Запорізької обл. (рис. 1), і ДГН АЗС “WOG” (рис. 2). ДГН приватних СЕС та АЗС “WOG” були отримані за три робочі дні 5-7 жовтня (вівторок – середа) 2018 р.

У таблиці 1 наведені розраховані енергетичні показники кожної СЕС [4]: коефіцієнт максимальної потужності K_m та коефіцієнти використання встановленої потужності за добу $K_{ВВПд}$ і за рік $K_{ВВПр}$, а також коефіцієнт парної кореляції r_{xy} СЕС2 і СЕС3 з СЕС1.

Коефіцієнт максимальної потужності дорівнює

$$K_m = P_{\max} / P_{\text{вст}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність СЕС, кВт;

P_{\max} – максимальна (пікова) потужність, що генерує СЕС, кВт.

Коефіцієнти використання встановленої потужності за добу $K_{ВВПд}$ і за рік $K_{ВВПр}$

$$K_{ВВПд} = W_d / 24P_{\text{вст}}, \quad K_{ВВПр} = W_p / 8760P_{\text{вст}}, \quad (2)$$

де W_d – добове виробництво електроенергії СЕС, кВт·год;

W_p – річне виробництво електроенергії СЕС, кВт·год.

Коефіцієнт парної кореляції Пірсона r_{xy} визначався за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

де x_i – значення змінної x ;

y_i – значення змінної y ;

\bar{x} – середнє арифметичне значення для змінної x ;

\bar{y} – середнє арифметичне значення для змінної y .

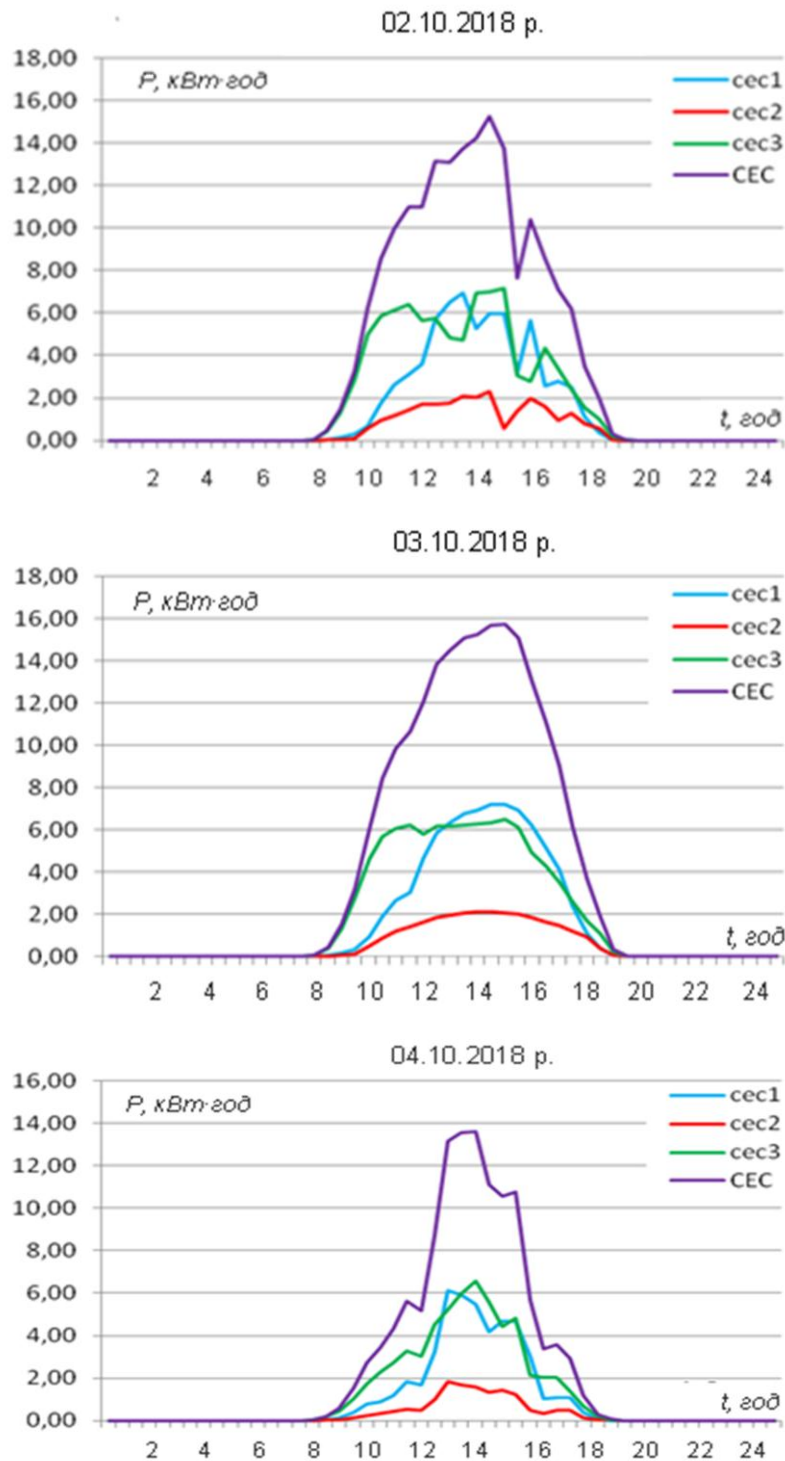


Рис. 1. ДГН приватних СЕС у м. Мелітополь

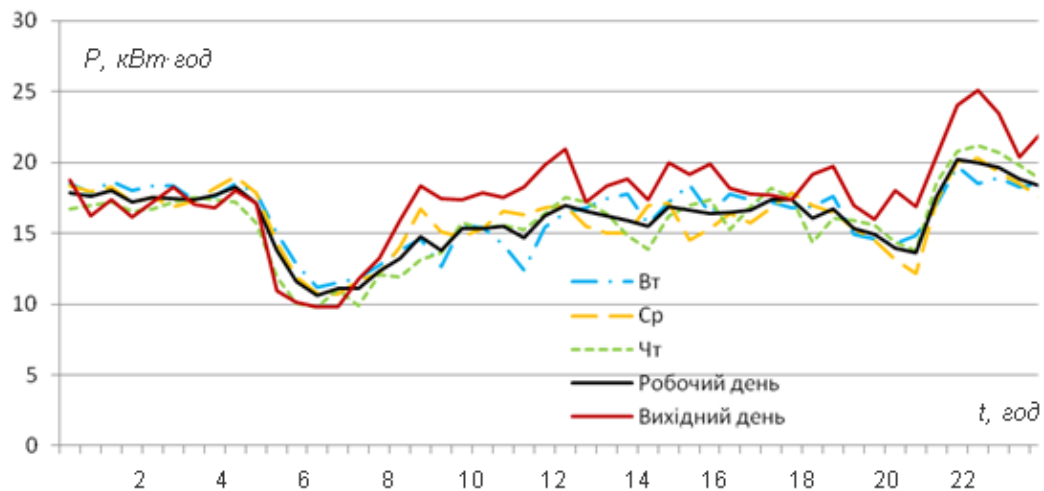


Рис. 2. ДГН АЗС “WOG”

Таблиця 1 – Енергетичні показники СЕС1, СЕС2, СЕС3 за 02.10.2018 р.

Показник	СЕС1	СЕС2	СЕС3
Орієнтація	південь	південь	схід-захід
$P_{\text{вст}}$, кВт	20	5,2	30
$P_{\text{макс}}$, кВт	7	2,25	7,1
K_m	0,35	0,43	0,237
W_d , кВт·год	60,88	25,07	88,77
$K_{\text{ВВП}d}$	0,139	0,201	0,123
W_p , кВт·год	17611	7080	27738
$K_{\text{ВВП}p}$	0,101	0,155	0,106
Коефіцієнт парної кореляції з СЕС1, r_{xy}	$r_{xy} =$	0,986945	–
	$r_{xy} =$	–	0,936412

Із аналізу таблиці 1 виходить: – найбільш високі енергетичні показники у найменш потужної СЕС2 з орієнтацією на південь, $K_{\text{ВВП}d} = 0,201$, у СЕС1 $K_{\text{ВВП}d} = 0,139$ – менший на 45%, а у СЕС3 з орієнтацією схід-захід $K_{\text{ВВП}d} = 0,123$ – менший на 63%; – кореляція ДГН у приватних дахових СЕС дуже сильна, у СЕС1 і СЕС2 з орієнтацією на південь кореляція сильніша ($r_{xy} = 0,986945$), з різною орієнтацією – у СЕС1 і СЕС3 кореляція дещо менша ($r_{xy} = 0,936412$).

Коефіцієнт парної кореляції Пірсона за світовий день між еквівалентними ДГН дахових СЕС (фіолетовий колір на рис. 1) та ДГН АЗС “WOG” (рис. 2), розрахований за формулою (3), становить $r_{xy} = 0,8536$, тобто маємо високий кореляційний зв'язок. Тому на базі дахових СЕС може бути створена локальна мережа ефективних станцій для заряду акумуляторів електромобілів на АЗС.

Недоліком традиційних плоских сонячних панелей, що

виготовляються промисловістю, і масово використовуються на СЕС, є зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) при зростанні його робочої температури. При нагріві ФЕП на один градус зверх 25°C він втрачає в напрузі $0,002\text{ В}$, тобто $0,4\%/$ градус. У яскравий сонячний день елементи нагріваються до $60\dots 70^{\circ}\text{C}$ втрачаючи $0,07\dots 0,09\text{ В}$ кожен. Це і є основною причиною зниження ККД, що приводить до падіння напруги, генерованої кожним ФЕП [5].

Крім того відомо, що максимальний ККД ФЕП має при “падінні” сонячних променів перпендикулярно до його поверхні. Так як Сонце весь час “переміщується” по обрії, для ефективного використання плоских сонячних панелей, застосовують пристрої стеження панелі за сонцем, що значно ускладнює конструкцію СЕС та вимагає додаткових капітальних витрат [2].

Відомий сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми Solyndra, що містить дві скляні трубки, трубка меншого діаметра покрита тонкою плівкою напівпровідникового матеріалу і поміщена в таку ж трубку більшого діаметра. Така форма дозволяє збільшити кількість поглинутого світла, а отже і генерованої електроенергії, на протязі дня без зміни положення конструкції фотомодуля [2].

В Таврійському державному агротехнологічному університеті (м. Мелітополь, Україна) розроблена і запатентована удосконалена конструкція когенераційного (одночасне генерування електричної і теплової енергії) охолоджувального фотоелектричного модуля (ФЕМ) циліндричної форми і присадибна СЕС на його основі [8, 9]. Розроблена присадибна СЕС з використанням когенераційного ФЕМ з охолоджуючою рідиною, характеризується високим ККД при відносно низькій вартості у порівнянні з відомими пристроями. Технічна сутність СЕС з когенераційними охолоджувальними ФЕМ пояснюється графічним матеріалом, де на рис. 3 зображена структурна схема присадибної СЕС з ФЕМ циліндричної форми, що охолоджуються, (пат. України 103043) [9]; на рис. 4 – повздовжній і поперечний розрізи сонячного ФЕМ циліндричної форми, що охолоджується рідиною; на рис. 5 – зовнішній вигляд батареї ФЕМ.

Присадибна СЕС з когенераційними ФЕМ циліндричної форми містить батарею 1 із декількох ФЕМ 2 циліндричної форми, об'єднаних спільним охолоджувальним колектором 3, накопичувальний акумулятор 4, контролер 5, інвертор 6, споживачі постійного струму 7 приєднані до виходу контролера безпосередньо, а споживачі змінного струму 8 приєднані через інвертор 5. Об'єднання ФЕМ 2 в батарею 1 з спільним охолоджувальним колектором 3, збільшує продуктивність СЕС при підвищеному ККД. Наявність

контролера 5 забезпечує керування процесом заряду-розряду накопичувального акумулятора 4 і живлення електроприймачів 7 постійного струму, наявність інвертора 6 забезпечує живлення електроприймачів 8 змінного струму.

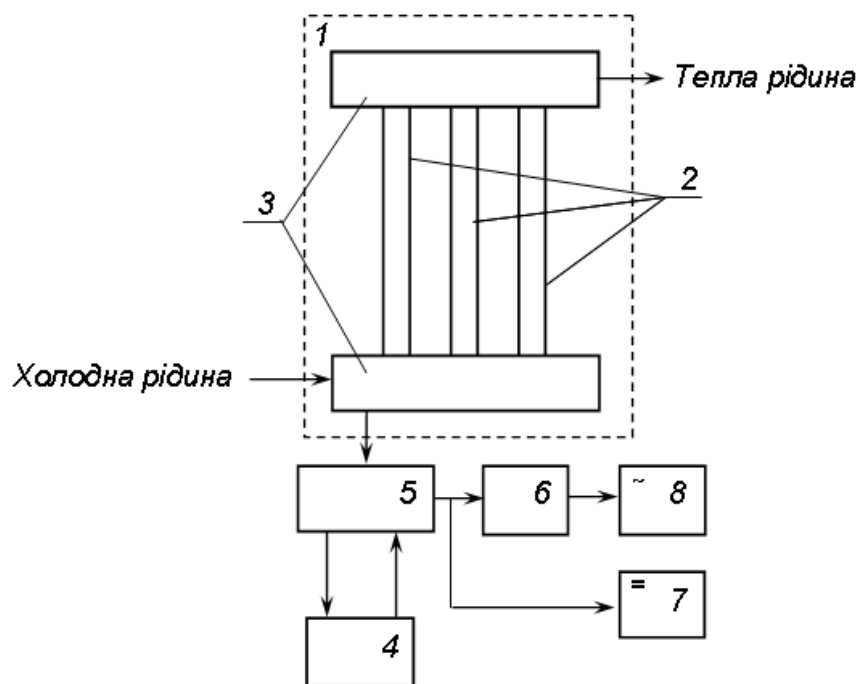


Рис. 3. Структурна схема присадибної СЕС

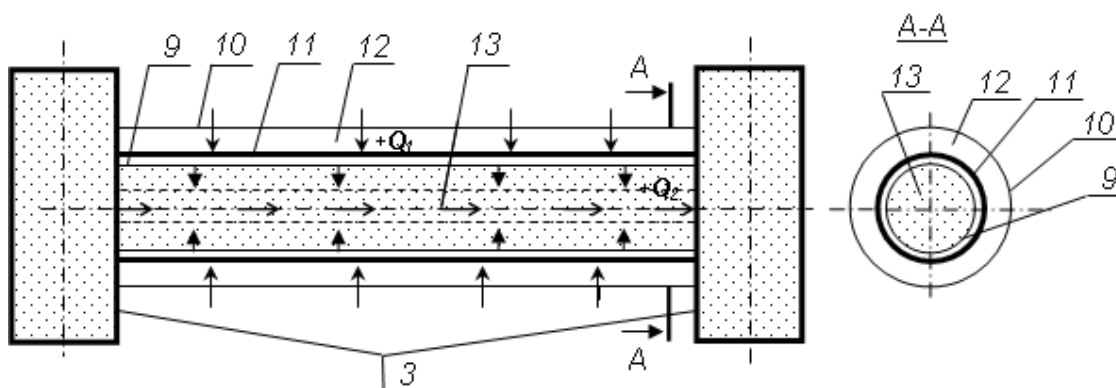


Рис. 4. Фотоелектричний модуль циліндричної форми, що охолоджується

Присадибна СЕС з ФЕМ циліндричної форми працює наступним чином. Батарея 1 із ФЕМ 2 встановлюється на даху адміністративної будівлі АЗС під кутом до горизонту, рівним географічній широті місцевості. Сонячне світло вільно проходить через зовнішню прозору трубку 10 виготовлену з міцного боросилікатного скла, яке забезпечує пропуск хвиль сонячної радіації в діапазоні 0,4...2,7 мкм, і попадає на ФЕП 11, розташований на

внутрішній скляній трубці 9 меншого діаметра, які генерують електричну енергію. ФЕП 11 виготовлений із напівпровідникового матеріалу (аморфного кремнію) і нанесений шляхом напилювання на скляну трубку 9 тонкою плівкою.



Рис. 5. Загальний вигляд батареї ФЕМ, що охолоджуються

Така конструкція ФЕМ 1 забезпечує збільшення кількості поглинутого світла (а отже і кількості виробленої електроенергії) протягом дня, без зміни його положення.

На поверхню ФЕМ 1 циліндричної форми світло попадає під прямим кутом у вигляді трьох складових: прямого світла, розсіяного світла і відбитого світла від поверхні, на якій розташовано ФЕМ 1. Сонячне світло, що попадає на ФЕМ 1 визиває нагрів ФЕП 11 ($+Q_1$ на рис. 4), а охолоджуюча рідина 13 відбирає тепло $+Q_2$, знижує робочу температуру ФЕП 11, чим забезпечує збільшення його ККД, і за принципом термосифона поступає до верхньої частини колектора 3.

Якщо в якості охолоджуючої рідини 13 використовується вода, то після підігріву вона може використовуватися для господарчих потреб, а до нижньої частини колектора поступатиме свіжа вода з водопроводу.

Висновки.

1. За допомогою кореляційного аналізу доведено, що на базі СЕС, які встановлюються на даху адміністративної будівлі АЗС, може

бути створена локальна мережа ефективних сонячних станцій для заряду акумуляторів електромобілів.

2. З метою підвищення загального ККД СЕС, запропоновано використовувати СЕС з когенераційними ФЕМ циліндричної форми, що охолоджуються рідиною, і одночасно генерують електричну і теплову енергію.

Література:

1. Электромобиль приближает конец нефтяной эры. URL: <http://savenergy.info/page/electric-car-near-end-oil-era/> (дата звернення: 02.07.2019).

2. Аккумуляторные батареи для электромобилей. URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/1718> (дата звернення: 02.07.2019).

3. *Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В.* Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

4. Про перспективу використання приватних сонячних електростанцій для зарядки екомобілів в Україні / *С. В. Галько* та ін. // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. Інтернет-конф. (м. Харків, 19-20 лист. 2018 р.). Харків, 2018. С. 54-56.

5. *Жарков В. Я., Жарков А. В., Галько С. В.* Технічні рішення в енергозбереженні та енергоефективності // Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: колективна монографія / за ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава, 2019. С. 401-426.

6. *Жарков А. В.* Кореляційний аналіз ДГН приватних дахових СЕС та переробних підприємств міста щодо їх інтеграції в локальну електромережу // Розвиток науки в ХХІ столітті. Харків, 2018. Ч. 1. С. 44-58.

7. *Ефимов В. П.* Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 8, № 2. С. 100-115.

8. *Галько С. В., Жарков А. В., Королев А. М.* Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями // Сб. науч. тр. СтГАУ. Ставрополь, 2015. С. 18-24.

9. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми: пат. 103043 Україна: МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35 (2006.01). № и 201506713; заявл. 07.07.15; опубл. 25.11.15, Бюл. №22.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Галько С. В.

Аннотация – в работе рассматривается проблема возможности создания локальных энергетических сетей для зарядки аккумуляторов электромобилей на существующих стационарных автозаправочных станциях (АЗС) на основе возобновляемых источников, с целью энергосбережения традиционных источников энергии. Предложено создание таких сетей на основе эффективных солнечных электростанций (СЭС), которые устанавливаются на крыше административного здания АЗС.

Для обоснования возможности использования СЭС для зарядки аккумуляторных батарей электромобилей на АЗС, проведен корреляционный анализ суточных графиков нагрузки (ДГН) трех частных СЭС, установленных на крышах частных сооружений, расположенных рядом с АЗС "WOG" г. Мелитополь Запорожской обл. и ДГН АЗС "WOG". Экспериментальные ДГН частных СЭС и АЗС "WOG" полученные за три рабочих дня в октябре 2018 г. Определены коэффициенты парной корреляции Пирсона за световой день между эквивалентными ДГН кровельных СЭС и ДГН АЗС "WOG", которые имеют высокие значения, то есть имеют высокую корреляционную связь. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования крышных СЭС для зарядки аккумуляторов электромобилей на стационарных АЗС.

С целью повышения общего коэффициента полезного действия (КПД) СЭС, вместо традиционных плоских солнечных батарей, предложено использовать СЭС с когенерационными фотоэлектрическими модулями (ФЭМ) цилиндрической формы, которые охлаждаются жидкостью. Это позволит одновременно получать электрическую и тепловую энергию для хозяйственных нужд.

USE OF COGENERATION PHOTOELECTRIC MODULES FOR CHARGING BATTERIES OF ELECTRIC CARS

S. Galko

Summary

The paper considers the problem of the possibility of creating local energy networks for charging electric vehicle batteries at existing stationary gas stations (gas stations) based on renewable sources, with the aim of energy saving traditional energy sources. The creation of such networks based on efficient solar power plants (SES), which are installed on the roof of the administrative building of the gas station, is proposed.

To justify the possibility of using SES for charging electric vehicle batteries at gas stations, a correlation analysis of daily load schedules (DGN) of three private SES installed on the roofs of private buildings located near the WOG gas station in the city of Melitopol, Zaporizhzhya region, and DGN gas station "was performed. WOG. " Experimental DGN of private SES and WOG gas stations obtained over three working days in October 2018. Pearson pair correlation coefficients per daylight hours between equivalent DGN of roofing SES and DGN of WOG gas stations, which are high, that is, have a high correlation, are determined. The conducted studies allow us to conclude that it is possible to use roof SES to charge electric vehicle batteries at stationary gas stations.

In order to increase the overall efficiency (Efficiency) of SES, instead of traditional flat solar panels, it is proposed to use SES with cylindrical cogeneration photoelectric modules (FEM), which are cooled by a liquid. This will allow you to simultaneously receive electrical and thermal energy for household needs.

Based on the studies, the following conclusions were made:

1. By means of correlation analysis it is proved that on the basis of SES, which are installed on the roof of the administrative building of the gas station, a local network of efficient solar stations can be created to charge the batteries of electric vehicles.

2. In order to increase the overall efficiency of the SES, it is proposed to use a SES with a cylindrical fluid-cooled CEM that is liquid cooled and simultaneously generate electrical and thermal energy.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ ЗМІННОМУ ЗАВАНТАЖЕННІ

Квітка С. О., к. т. н.,

Вовк О. Ю., к. т. н.,

Стребков О. А., інж.

Волошина А. А., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

Анотація – через те, що робочі машини доволі часто обладнані застарілими приводними електродвигунами та пускозахисною апаратурою, а висока вартість модернізації обладнання не завжди дозволяє забезпечити енергозберігаючі режими роботи спостерігається нераціональне споживання електричної енергії.

Для вирішення вищезначеної проблеми в статті було проведено дослідження електромеханічних та теплових процесів при змінному навантаженні асинхронних електродвигунів та при різному рівні живлячої напруги.

На підставі проведених досліджень розроблена методика аналітичного дослідження коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, під яким розуміється відношення втрат активної потужності до активної потужності на його валу у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, а також враховано вплив рівня живлячої напруги.

За прийнятою методикою проведено кількісний аналіз коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження робочої машини з урахуванням рівня живлячої напруги. Аналіз отриманих результатів показав, що незалежно від типу робочої машини при зниженні напруги на затискачах електродвигуна відбувається зменшення коефіцієнту втрат активної потужності в ньому в діапазоні завантаження до 50%. При завантаженні електродвигуна на 50-70% коефіцієнт втрат є мінімальним при значенні напруги близькому до номінальної, а в діапазоні від 70% і вище коефіцієнт втрат буде зменшуватись при збільшенні напруги живлення.

Таким чином, використання отриманих результатів дозволяє забезпечити енергозберігаючий експлуатаційний режим роботи асинхронного електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня живлячої напруги при змінному завантаженні останнього.

Ключові слова – активна потужність, втрати потужності, живляча напруга, коефіцієнт втрат, енергозбереження, режим роботи, асинхронний електродвигун.

Постановка проблеми. Робочі машини агропромислового комплексу у більшості випадків обладнані застарілими приводними електродвигунами та пускозахисною апаратурою, а питанню модернізації обладнання майже не приділяється уваги через його високу вартість. Внаслідок цього, через відсутність засобів регулювання режимів роботи електродвигунів при змінному завантаженні робочих машин спостерігається нераціональне споживання електричної енергії.

Тому необхідні науково-технічні рішення в сфері енергозбереження і, як наслідок, дослідження втрат електричної енергії в електродвигунах є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що це питання частково вирішено, наприклад, для електродвигуна, працюючого з перевантаженням, взявши за основу показники номінального режиму його роботи [1].

Проведено дослідження енергозбереження в асинхронних електродвигунах з позиції конструктивного виконання активних частин останнього [2], методів оптимізації втрат електричної енергії в асинхронному електродвигуні [3, 4], запропоновано новий метод мінімізації втрат в асинхронному електродвигуні [5].

Залишаються недослідженими експлуатаційні режими електродвигуна при відхиленнях від номінального режиму роботи: підвищення напруги, зниження напруги, змінне завантаження на його валу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є аналітичне дослідження електромеханічних та теплових процесів при змінному навантаженні асинхронних електродвигунів, та при різному рівні живлячої напруги.

Основна частина. На підставі досліджень, проведених в [6] приймаємо наступну методику аналітичного дослідження коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, під яким будемо розуміти відношення втрат активної потужності до активної потужності на його валу у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, тобто $k_{\text{п}} = f(k_3)$ з урахуванням рівня живлячої напруги.

1. Задаємо значенням коефіцієнта завантаження робочої машини та рівня живлячої напруги;

2. Визначаємо ковзання асинхронного електродвигуна при заданих значеннях k_3 та k_u з урахуванням типу робочої машини. Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_H. \quad (1)$$

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{m_0 + \frac{1 - m_0}{1 - s_H}}{\frac{k_U^2}{k_3 \cdot s_H} + \frac{1 - m_0}{1 - s_H}}. \quad (2)$$

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ($x = 2$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4 \cdot K_1 \cdot K_3}}{2 \cdot K_1}, \quad (3)$$

$$\text{де } K_1 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0); \quad (4)$$

$$K_2 = -2 \cdot K_1 - k_U^2 \cdot (1 - s_H)^2; \quad (5)$$

$$K_3 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0 + m_0 (1 - s_H)^2). \quad (6)$$

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ($x = -1$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{\frac{k_u^2}{s_H} + m_0 - \sqrt{\left(\frac{k_u^2}{s_H} + m_0\right)^2 - 4 \frac{k_u^2}{s_H} (m_0 + (k_3 - m_0)(1 - s_H))}}{2 \cdot \frac{k_u^2}{s_H}}. \quad (7)$$

3. Визначаємо силу електричного струму в контурі схеми заміщення асинхронного електродвигуна:

$$I' = \frac{k_u U_H}{\sqrt{(R_1' + R_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}. \quad (8)$$

4. Визначаємо механічну потужність електродвигуна:

$$P_{mx} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2. \quad (9)$$

Визначаємо додаткові втрати активної потужності в електродвигуні:

$$\Delta P_{\text{дод}} = \frac{I'}{I'_n} \Delta P_{\text{дод.н}}, \quad (10)$$

де

$$\Delta P_{\text{дод.н}} = 0,005 \frac{P_{2н}}{\eta_n}. \quad (11)$$

5. Визначаємо втрати активної потужності в механічній системі електродвигуна:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{тр.н}} \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^2, \quad (12)$$

де

$$\Delta P_{\text{тр.н}} = P_{\text{мх.н}} - P_{2н} - \Delta P_{\text{дод.н}}. \quad (13)$$

6. Визначаємо інші сумарні втрати активної потужності P_{Σ} , використовуючи схему заміщення асинхронного електродвигуна:

$$P_{\Sigma н} = 3(R_1' + R_2'') I'^2 + 3R_1 I_0^2, \quad (14)$$

де

$$I_0 = \frac{\kappa_u U_n}{\sqrt{R_1^2 + (x_1' + x_{\mu})^2}}. \quad (15)$$

7. Визначаємо втрати активної потужності в електродвигуні без урахування втрат в магнітопроводі:

$$\Delta P' = \Delta P_{\Sigma н} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{дод}}. \quad (16)$$

8. Визначаємо втрати активної потужності в магнітопроводі:

$$\Delta P_{\text{м}} = \kappa_u^2 \Delta P_{\text{м.н}}. \quad (17)$$

9. Визначаємо загальні втрати активної потужності в електродвигуні:

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P_{\text{м}}. \quad (18)$$

10. Визначаємо механічну потужність, яка передається на вал робочій машині:

$$P_2 = P_{mx} - \Delta P_{тр} - \Delta P_{од}. \quad (19)$$

11. Визначаємо коефіцієнт втрат активної потужності:

$$\kappa_n = \frac{\Delta P}{P_2}. \quad (20)$$

За методикою, викладеною вище, проведемо кількісний аналіз коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, з урахуванням рівня живлячої напруги.

Кількісний аналіз проведемо на прикладі електродвигуна типорозміру 4A100S2У3.

Приймаємо значення коефіцієнта прикладеної напруги κ_u в межах від 1,1 до 0,8; значення коефіцієнта завантаження κ_z від 0 до 1,2. Розраховуємо коефіцієнт втрат активної потужності електродвигуна, працюючого з різними типами робочих машин. Результати представляємо графічно (рис. 1-4).

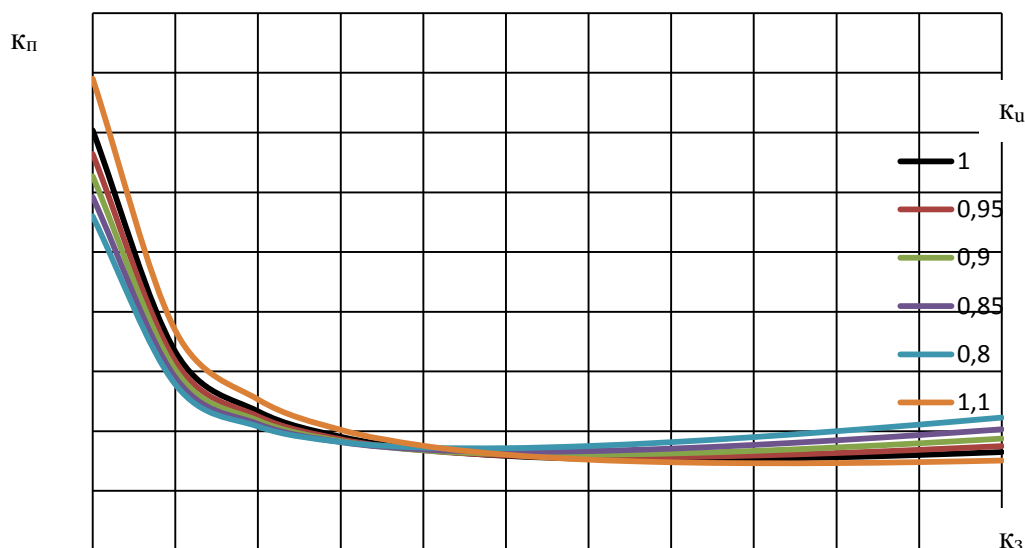


Рис. 1. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$)

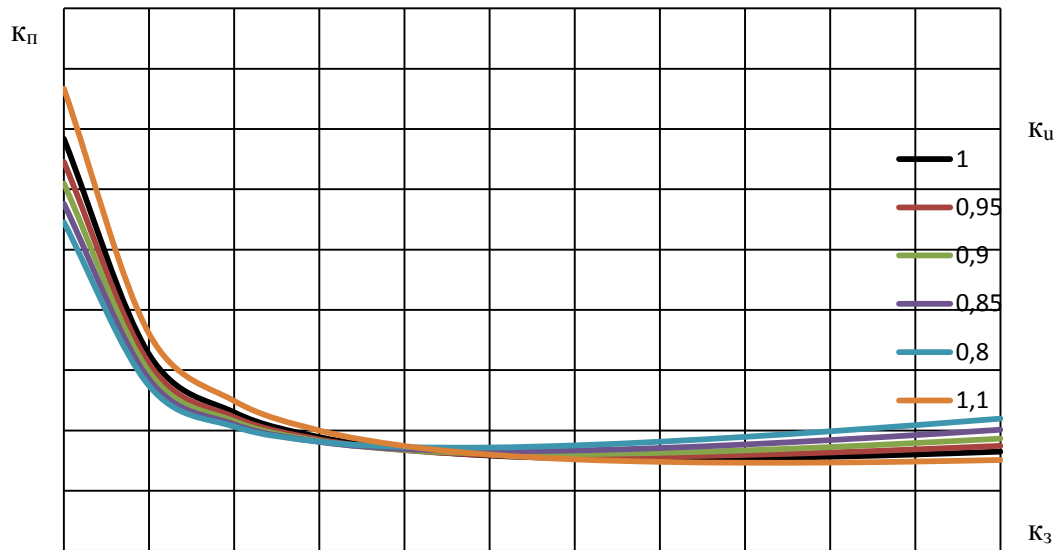


Рис. 2. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$)

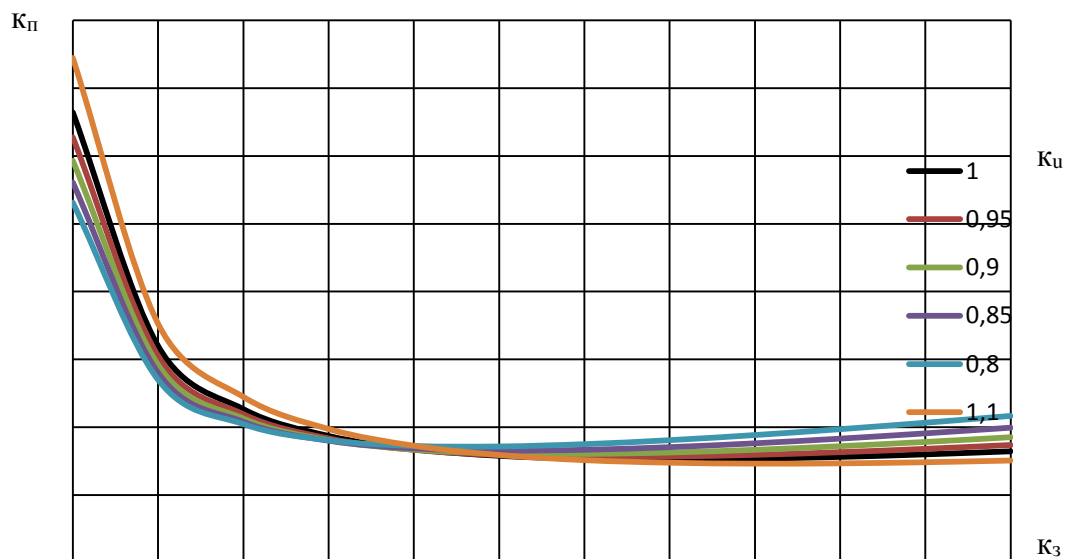


Рис. 3. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 2$)

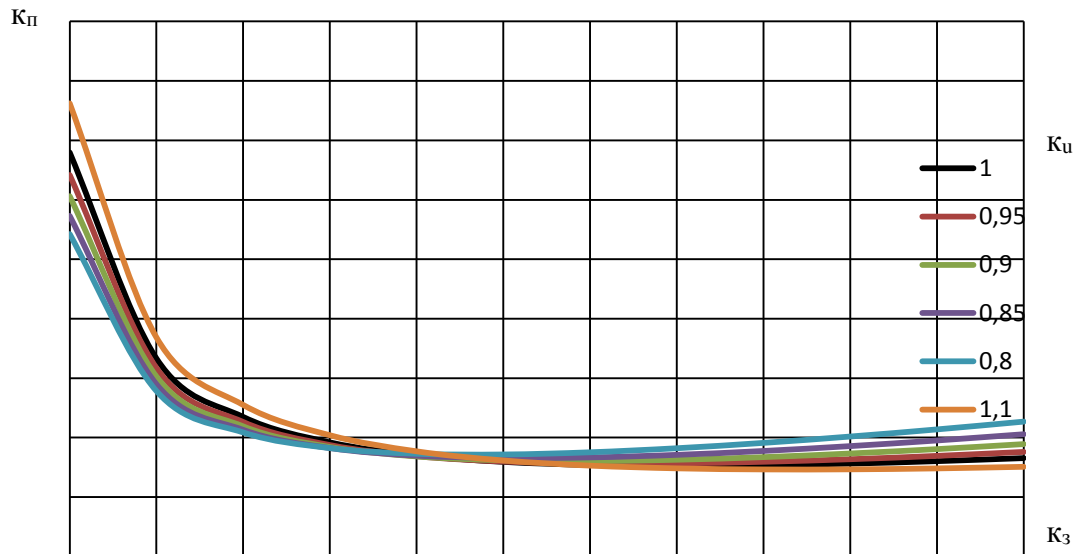


Рис. 4. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-спадаючою механічною характеристикою ($x = -1$)

Аналіз залежностей коефіцієнта втрат активної потужності електродвигуна типорозміру 4A100S2Y3 в залежності від його завантаження показав, що незалежно від типу робочої машини при зниженні напруги на затискачах електродвигуна відбувається зменшення коефіцієнта втрат активної потужності в ньому в діапазоні завантаження до 50%. При завантаженні електродвигуна на 50-70% коефіцієнт втрат є мінімальним при значенні напруги близькому до номінальної, а в діапазоні від 70% і вище коефіцієнт втрат буде зменшуватись при збільшенні напруги живлення.

Висновки.

1. Розроблена методика аналітичного дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором у функції коефіцієнта його завантаження та рівня живлячої напруги.

2. Аналіз отриманої залежності коефіцієнта втрат активної потужності показує, що вона носить нелінійний екстремальний характер і, її використання дозволяє забезпечити енергозберігаючий експлуатаційний режим роботи асинхронного електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня живлячої напруги при змінному завантаженні останнього.

Література:

1. Овчаров С. В., Стребков А. А. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях // Восточно-Европейский журнал

передовых технологий. 2015. Т. 2, № 8 (74). С. 22-28.

2. *Sun D. S.* Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 433-440. P. 1033-1037.

3. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses / *N. T. Hung* [et al.] // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2014. P. 497-507. DOI: 10.1007/978-3-642-41968-3_50.

4. Novel Loss Optimization in Induction Machines with Optimum Rotor Flux Control / *S. Grouni* [et al.] // *International Journal of Systems Control*. 2010. Vol. 1, Is. 4. P. 163-169

5. *Dhaoui M., Sbita L.* A New Method for Losses Minimization in IFOC Induction Motor Drives // *International Journal of Systems Control*. 2010. Vol. 1, is. 2. P. 93-99.

6. *Квитка С. О., Вовк О. Ю., Волошина А. А., Стребков О. А.* Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна // *Енергетика і автоматика*. 2016. № 4. С. 89-97.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАГРУЗКЕ

Квитка С. А., Вовк А. Ю., Стребков А. А., Волошина А. А.

Аннотация – на основании проведенных исследований разработана методика аналитического исследования коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе, под которым понимается отношение потерь активной мощности к активной мощности на его валу в функции коэффициента загрузки рабочей машины, а также учтено влияние уровня питающего напряжения.

По принятой методике проведен количественный анализ коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции коэффициента загрузки рабочей машины с учетом уровня питающего напряжения. Анализ полученных исследований показал, что независимо от типа рабочей машины при снижении напряжения на зажимах электродвигателя происходит снижение коэффициента потерь активной мощности в нем в диапазоне загрузки до 50%. При загрузке электродвигателя на 50-70% коэффициент потерь минимален при значении напряжения близком к номинальному, а в диапазоне от 70% и выше коэффициент потерь будет

уменьшаться при увеличении питающего напряжения.

Таким образом, использование полученных зависимостей позволяет обеспечить энергосберегающий эксплуатационный режим работы асинхронного электродвигателя путем определения оптимального уровня питающего напряжения при переменной его нагрузке.

ENERGY SAVING MODES OF INDUCTION MOTORS WITH VARIABLE LOAD

S. Kvitka, O. Vovk, O. Strebkov, A. Voloshina

Summary

Due to the fact that working machines are often equipped with outdated drive motors and start-up protection equipment, and the high cost of equipment modernization does not always allow to provide energy-saving modes of operation, there is an irrational use of electric energy.

To solve the above problem in the article was carried out the study of Electromechanical and thermal processes at variable load asynchronous motors, as well as at different levels of supply voltage.

On the basis of the research the developed methodology the analytical study of the ratio of active power losses in the asynchronous motor, which is defined as the ratio of active power losses the active power on the shaft as a function of the load factor of the working machine, and also takes into account the influence of the level of the supply voltage.

According to the adopted method, a quantitative analysis of the coefficient of loss of active power in the asynchronous motor in the function of the coefficient of loading of the working machine, taking into account the level of supply voltage, is carried out. The analysis of the obtained studies showed that regardless of the type of working machine, when the voltage at the terminals of the electric motor decreases, the coefficient of active power loss in it in the loading range is reduced to 50%. When the electric motor is loaded by 50-70%, the loss coefficient is minimal at a voltage close to the nominal value, and in the range from 70% and above the loss coefficient will decrease with an increase in the supply voltage.

Thus, the use of the obtained dependences makes it possible to provide an energy-saving operating mode of the asynchronous electric motor by determining the optimal level of the supply voltage at its variable load.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРЕСОВОЇ РИЦИНОВОЇ ОЛІЇ

Дідур В. В., к. т. н.,

Дідур В. А., д. т. н.,

Назаренко І. П., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 44-57-97

Анотація – наведена фізична модель флоатаційного очищення рослинних олій. На підставі фізичної моделі розроблено технологічну схему установки для електрофлоатаційного очищення рицинової олії. Розроблено конструкцію та виготовлено лабораторну установку для очищення рицинової олії. За допомогою виготовленої лабораторної установки проведені експериментальні дослідження, які дозволили обґрунтувати технологічні режими і конструктивні параметри електрофлоатаційної установки для очищення рицинової олії в залежності від її потужності.

Дослідження процесу очищення рицинової олії дозволили визначити час видалення вологи і гідратованих фосфатидів та механічних домішок з рицинової олії та конструктивні параметри системи електродів. При продуктивності лабораторної флоатаційної установки 0,07 л/хв зменшення вмісту води з 2% до 0,2% – довжина електродів повинна складати 1 м, їх діаметр 2 мм, при відстані між електродами 0,1 м та напрузі на електродах 5 кВ.

Порівняння теоретичних та експериментальних залежностей часу видалення вологи та гідратованих фосфатидів і механічних домішок з рицинової олії від напруги на електродах підтверджено адекватність теоретичної моделі експериментальним даним (максимальне віджимання теоретичних величин від експериментальних не перевищує 7%) та доцільність використання запропонованого методу очищення пресової рицинової олії від фосфатидів і механічних домішок в електричному полі (ступінь очищення за час 1000 с складає 97%).

Ключові слова – фосфатиди, механічні домішки, гідратація, флоатація, потенціал, силове електричне поле, рицинова олія, пориста перегорodka.

Постановка проблеми. Сучасна олієжирова промисловість України зорієнтована тільки на переробку соняшника. В той час як ґрунтово-кліматичні умови нашої країни є такі, що дозволяють виробляти у промислових обсягах багато інших олійних культур. Так, наприклад, умови Півдня України є дуже сприятливими для виробництва насіння рицини із якої отримують рицинову олію. Сучасні технології переробки рицини, через малі обсяги виробництва на відміну від переробки соняшника, спрямовані на без екстракційний віджим олії за допомогою шнекових пресів. Відомо, що при такій технології олія отримується темного кольору, через забруднення дрібнодисперсними частинками рослинних домішок і фосфатидами (рис. 1) [1].

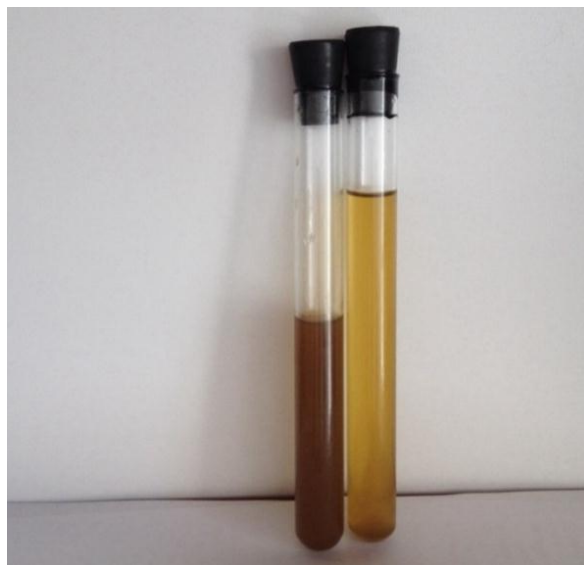


Рис. 1. Олія рицини до та після очищення

Така олія потребує обов'язкового очищення, що повинно бути передбачено як окрема технологічна операція в технології переробки рицини. Ефективне очищення діелектричних рідин забруднених мікронними частинками рослинних домішок і фосфатидів є дуже важливою як господарською так і науковою проблемою [2].

На теперішній час відомо багато способів очищення робочих рідин, рослинних олій, води та промислових стоків [5]. Серед них найбільш відомими є:

- очищення рідини за допомогою фільтрації через різні пористі перегородки [7];
- очищення рідини за допомогою силових полів [4, 5];
- очищення рідини за допомогою флотації [8].

Вивчення можливостей кожного із способів дозволяє констатувати, що стосовно в'язкої діелектричної рідини, якою є рицинова олія, найбільш прийнятним є спосіб флотації, зокрема, електрофлотації [3].

Суть цього способу полягає у використанні для виносу на поверхню рідини мікронних домішок попередньо гідратованих фосфатидів бульбашок пари, створених при кипінні води добавленої в олію. Цей процес інтенсифікується електричним полем високої напруженості, що дозволить, на нашу думку, отримати достатню кількість бульбашок для процесу флотації.

Мета досліджень полягає в розробці конструкції установки для очищення пресової рицинової олії та обґрунтуванні її технологічних режимів і конструктивних параметрів.

Основна частина. Для вирішення проблеми очищення рослинних олій останнім часом йдуть пошуки нових способів та їх комбінацій. Серед таких комбінованих способів може бути той, що нами запропоновано (Патент України №127279) [3], суть якого розкрита за допомогою рис. 2. На рис. 2, а наведено експозицію пресової рицинової олії, на рис. 2, б – експозиція процесу гідратації при додаванні води 1,5-2%. На рис. 2, в – відображено початок діелектрофорезу крапель води поблизу електродів, а на рис. 2, г та рис. 2, д початок та закінчення процесу електрофлотаційного очищення олії.

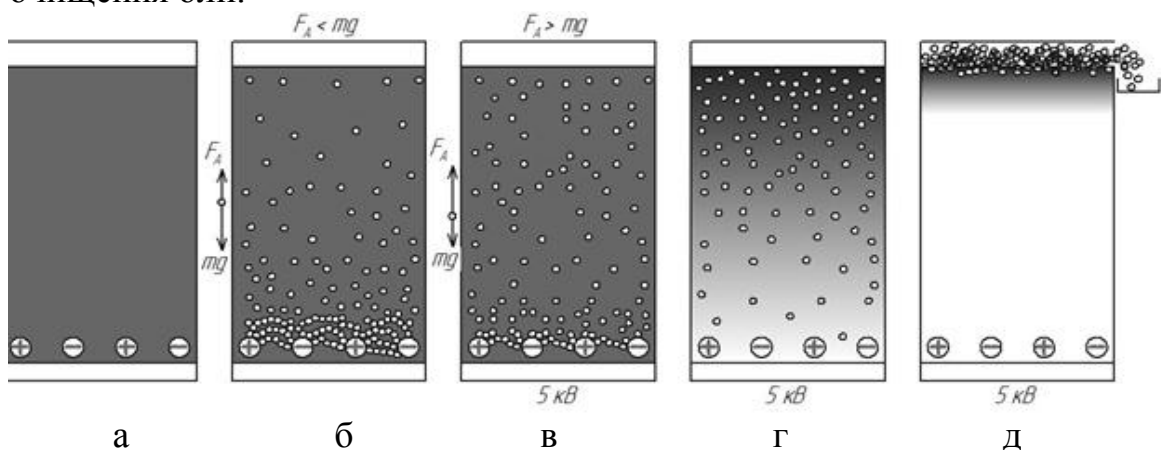


Рис. 2. Схема процесу очищення рицинової олії способом електрофлотації: а – віджата рицинова олія; б – процес гідратації; в – процес діелектрофорезу; г – процес електрофлотації; д – завершення процесу електрофлотації

Після віджиму рицинова олія вміщує багато різних домішок, в тому числі фосфати, білки та інші механічні домішки, які роблять її непрозорою.

Стандарти вимагають, щоб колір був прозорим [2].

Для вилучення білків, фосфатидів та механічних домішок, що створюють темний колір проводять їх гідратацію додаванням до олії 1,5-2% води. В результаті взаємодії фосфатидів з водою виникають агрегати гідратованих фосфатидів, які не мають зв'язку з дисперсійним середовищем і тому їх можна вилучити з олії,

використовуючи силову дію електричного поля на поляризовані частинки та флотацію домішок парогазовими бульбашками.

Після гідратації залишки води, які не прийняли участь у гідратації, у вигляді дрібних крапель розміром до 50 мкм залишаються в суспензії і надають їй мутного білого кольору. Ці краплі також підлягають вилученню.

У зв'язку з тим, що рицинова олія має високу в'язкість, процес очищення доцільно вести при підвищеній температурі. Водно-олійна емульсія створюється в результаті механічного перемішування мішалкою при температурі 50-70°C. Для проведення процесу очищення олії від гідратованих фосфатів і білків в електричному полі температуру суспензії потрібно довести до 85-95°C.

Електричне поле створюється системою паралельних циліндричних електродів. Таке поле має велику неоднорідність і тому виникають значні електричні сили, які діють на поляризовані частинки фосфатидів і краплі залишкової води. Ці сили направлені в бік найбільшого значення величини напруженості поля (по градієнту напруженості), тобто до поверхні електродів. Величина сили, що діє на поляризовану частинку в неоднорідному електричному полі залежить від діелектричної проникності речовини частинки. В першому наближенні можна прийняти величину діелектричної проникності гідратованих фосфатидів та білків такою, що дорівнює діелектричній проникності води ($72 \cdot 10^{-11}$ Ф/м). Швидкість руху частинок до електродів зумовлена величиною електричної сили та сили опору в'язкого середовища. При досягненні електроду гідратовані фосфатиди і краплі води попадають в поле з найбільшою напруженістю та градієнтом напруженості. Як показали попередні експериментальні дослідження, на поверхні електроду краплі води накопичуються та починається їх випаровування з утворенням дрібних парогазових бульбашок, розмір яких зумовлений величиною діаметру електроду. Такі дрібні бульбашки здатні виносити на поверхню олії гідратовані фосфатиди, які знаходяться в шарі олії над електродною системою, тобто здійснювати процес флотаційного очищення олії.

Час очищення від гідратованих фосфатидів, білків, механічних домішок і залишків води залежить від об'єму рідини в камері, конструктивних параметрів електродної системи та величини напруги на електродах. Величину напруги доцільно підтримувати на максимальному рівні, але меншому ніж напруга пробою рідини між електродами.

Для забезпечення процесу очищення рицинової олії методом електрофлотації нами розроблено та виготовлено лабораторний зразок установки, технологічна схема якої наведена на рис. 3, а на рис. 4, а

наведено електрофлотаційний комплекс, що складається із високовольтного джерела живлення електродної системи, джерела живлення електродвигуна приводу мішалки та джерела живлення електронагрівачів. На рис. 4 б наведено загальний вигляд натурного зразка електрофлотаційної лабораторної установки, в основу якої покладена задача очищення олії шляхом приготування емульсії, яку пропускають через систему електродів, щоб посилити та прискорити процес флотації.

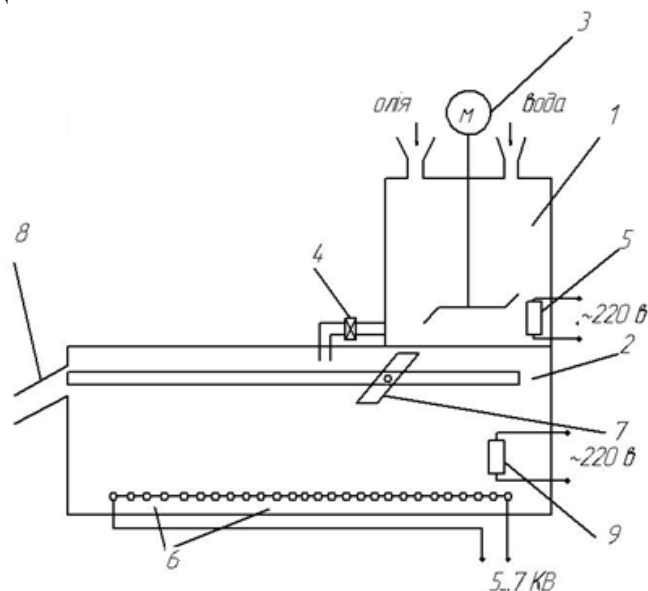


Рис. 3. Технологічна схема електрофлотаційної лабораторної установки: 1 – ємність для підігріву та перемішування олії; 2 – ємність процесу флотації; 3 – електродвигун змішувача; 4 – випускний кран (клапан); 5 – нагрівальний елемент; 6 – система електродів; 7 – скребок для збору піни; 8 – отвір для виводу піни; 9 – нагрівальний елемент флотаційної ємності



Рис. 4. Електрофлотаційний комплекс (а) та електрофлотаційна установка (б) для очищення рицинової олії

Установка працює таким чином: свіжовижата неочищена рицинова олія подається до ємності 1 для підігріву та змішування олії, куди додається 1,5...2% води. Ця рідина ретельно переміщується змішувачем 3, та підігрівається до температури близько 100°C за допомогою нагрівальних елементів 5. Підігріта та перемішана емульсія через випускний кран 4 надходить у флотаційну ємність 2. Для підтримки заданої температури в флотаційній ємності встановлено нагрівальний пристрій 9. Процес електрофлотації відбувається за допомогою встановленої системи електродів 6 у вигляді паралельно встановлених циліндрів. На електроди 6 подається змінна висока напруга від 3...5 кВ зі струмом – 10 мА, що створює в міжелектродному просторі електричне поле великої напруженості. При цьому на електродах виникають парогазові бульбашки, які разом із домішками підіймаються на поверхню рідини. З поверхні рідини домішки видаляються скребком 7 для збору піни через отвір 8 для виводу піни. Вихід очищеної олії здійснюється через випускний кран (на схемі не показано). Контроль температури в ємностях 1, 2 відбувається за допомогою встановлених датчиків температури (на схемі не показано). Через кожні 200 с відбирались проби для аналізу вмісту води гідратованих фосфатидів та механічних домішок. Вміст води визначався ваговим методом після випаровування, а вміст гідратованих фосфатидів та механічних домішок – центрифугуванням. Для аналізу процесу очищення рицинової олії в електричному полі було побудовано графічні залежності вмісту води в олії від часу, за формулою [1]:

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{\pi \cdot v \cdot d \cdot l}{v} t\right), \quad (1)$$

де N_0 – початковий вміст води в суміші, в.о.;
 v – швидкість зваження крапель води, м/с;
 d – діаметр електроду, м;
 l – довжина електроду, м;

при напругах на електродах: 3кВ, 3,5 кВ, 4кВ, 4,5 кВ, 5 кВ, що за результатами теоретичних досліджень [1] відповідають швидкостям осадження крапель води на електроди: 0,3 мм/с, 0,38 мм/с, 0,5 мм/с, 0,63 мм/с, 0,8 мм/с. Графіки побудовані для об'єму рідини 10^{-3} м³, радіуса електродів 10^{-3} м, довжини електродів 1 м, та початкового вмісту води 2%.

На рис. 5 та рис. 6 представлено отримані експериментальні залежності, а на рис. 7 показано динаміку зміни прозорості олії в залежності від часу витримки її в електрофлотаційній камері.

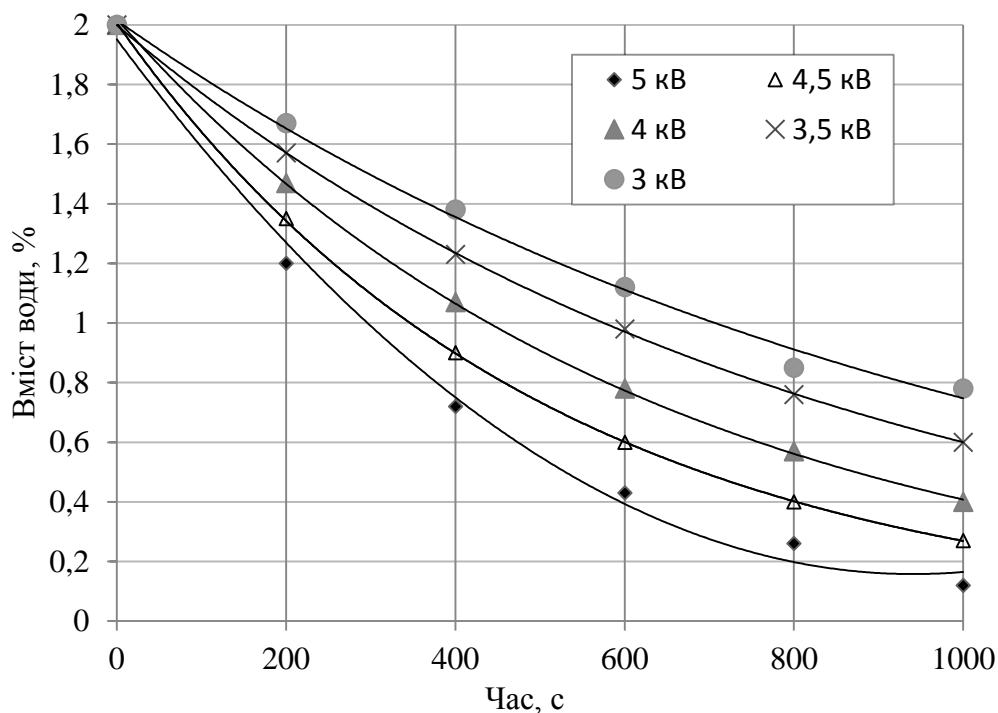


Рис. 5. Експериментальні залежності вмісту води від часу при різних напругах на електродах

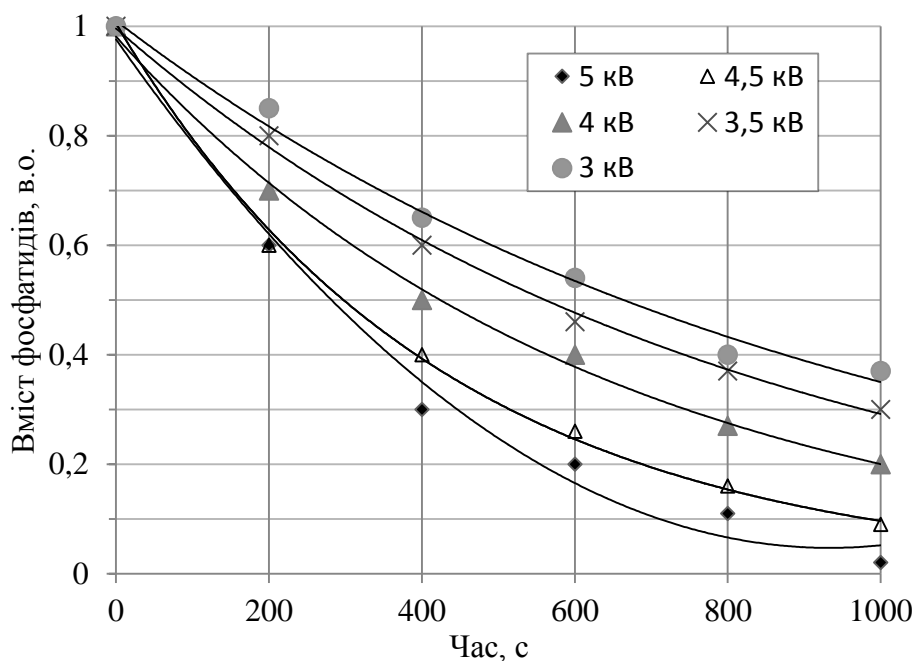


Рис. 6. Експериментальні залежності вмісту фосфатидів та механічних домішок від часу при різних напругах на електродах

Ступінь очищення рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок розраховано за формулою:

$$C_{\text{оч.}} = \frac{(X_1 - X_2) \cdot 100}{X_1}, \quad (2)$$

де X_1 – масовий вміст частинок гідратованих фосфатидів та механічних домішок в суспензії до очищення, %;

X_2 – масовий вміст частинок гідратованих фосфатидів та механічних домішок в суспензії після очищення, %.

Розрахунок показав, що запропонований спосіб забезпечує ступінь очищення рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок за час 1000 с при напрузі на електродах 5 кВ на рівні 97%.



Рис. 7. Прозорість очищеної рицинової олії в залежності від часу витримки 1 – віджата олія; 2 – гідратована віджата олія; 3, 4, 5 – олія після витримки в електрофлотаційній камері відповідно 300 с, 600 с та 1000 с

Порівняння теоретичних наведених у роботі [1] та експериментальних залежностей наведених на рис. 9 та 10 підтверджують адекватність математичної моделі гідродинаміки фосфатидів та механічних домішок під дією електричного поля у між електродному просторі.

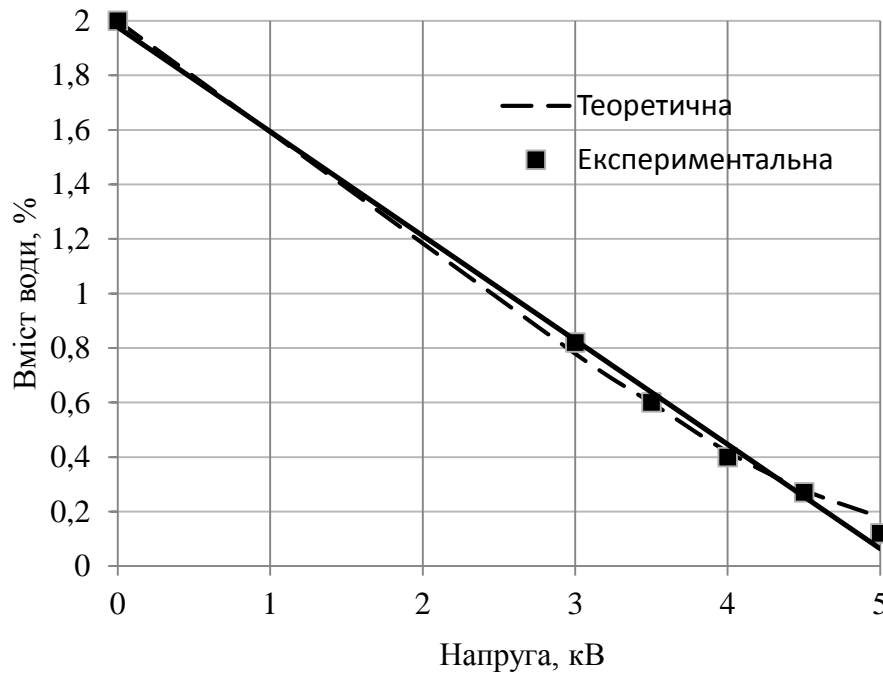


Рис. 9. Теоретична та експериментальна залежності вмісту води від напруги на електродах за час 1000 с

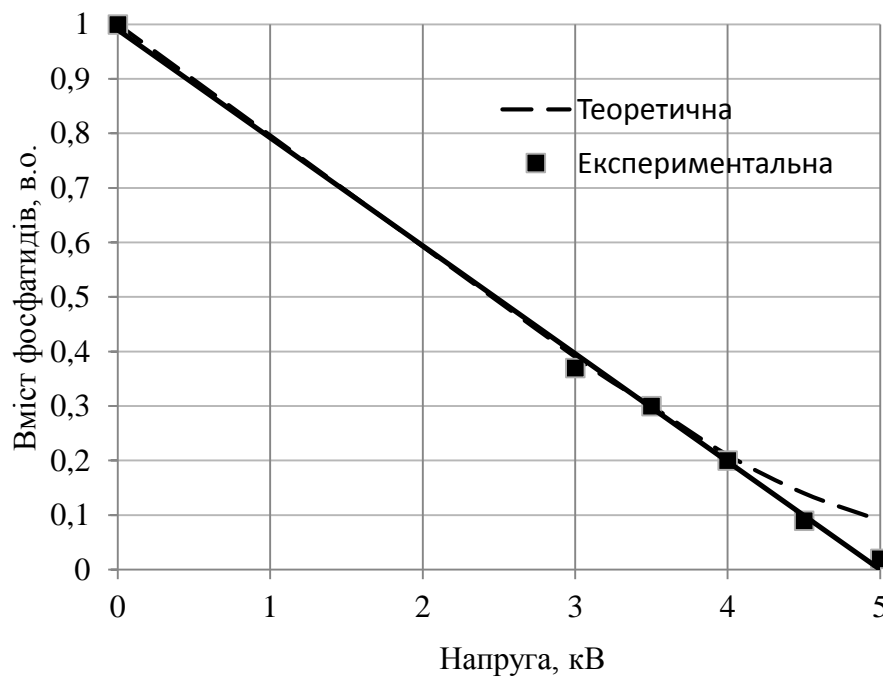


Рис. 10. Теоретична та експериментальна залежності вмісту фосфатидів та механічних домішок від напруги на електродах за час 1000 с

Висновки.

1. Дослідження процесу очищення рицинової олії дозволили визначити час видалення вологи і гідратованих фосфатидів та

механічних домішок з рицинової олії та конструктивні параметри системи електродів. Наприклад, для забезпечення продуктивності установки 0,07 л/хв зменшення вмісту води з 2% до 0,2% довжина електродів повинна скласти 1 м, їх діаметр 2 мм, при відстані між електродами 1 см та напрузі на електродах 5кВ.

2. Порівняння теоретичних та експериментальних залежностей часу видалення вологи та гідратованих фосфатидів і механічних домішок з рицинової олії від напруги на електродах підтвердило адекватність теоретичної моделі експериментальним даним (максимальне відхилення теоретичних величин від експериментальних не перевищує 7 %) та доцільність використання запропонованого методу очищення пресової рицинової олії від фосфатидів і механічних домішок в електричному полі (ступінь очищення за час 1000 с складає 97%).

Література:

1. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації / В. В. Дідур, В. А. Дідур, І. П. Назаренко, О. П. Назарова, О. В. Діденко // Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2018. Vol. 9, № 3. С. 91-96.

2. ГОСТ 6757-96. Масло касторовое техническое. Технические условия. [Дата введения 1997-01-01]. Минск: Стандартинформ, 2011. 6 с.

3. Спосіб очищення рослинної олії: пат. 127279 Україна: МПК В30В9/02. № u201801594; заявл. 05.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 8.

4. Заявка на патент А 201811921 Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії / В. В. Дідур, В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, І. П. Назаренко, О. В. Діденко.

5. Месеняшин А. И. Электрическая сепарация в силовых полях. Москва: Недра, 1978. 175 с.

6. Маев В. В., Смирнов Г. А., Ефремова Г. А. Тенденции развития систем очистки моторно-трансмиссионных масел и гидравлических гидкостей современных тракторов: обзорная информация. Москва: ЦНИИТЭИ Трактороссельмаш, 1986. 58 с.

7. Никитин Г. А. Проблемы чистоты гидкостей топливных масляных и гидравлических систем. Киев, 1978. 18 с.

8. Берил И. И., Болога М. К. Электросепарация фосфатидов подсолнечного масла // Электронная обработка материалов. 1994. № 6. С. 60-63.

9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: учеб. пособие: в 10 т. Москва: Наука, 1988. Т. 6: Гидродинамика. 736 с.

10. 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.

11. Методы расчета электростатических полей / Н. Н. Миролубов и др. Москва: Высшая школа, 1963. 416 с.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРЕССОВОГО КАСТОРОВОГО МАСЛА

Дидур В. В., Дидур В. О., Назаренко И. П.

Аннотация – приведена физическая модель флотационной очистки растительных масел. На основании физической модели разработана технологическая схема установки для электрофлотационной очистки касторового масла. Разработана конструкция и изготовлена лабораторная установка для очистки касторового масла. С помощью изготовленной лабораторной установки проведены экспериментальные исследования, которые позволили обосновать технологические режимы и конструктивные параметры электрофлотационной установки для очистки касторового масла в зависимости от ее мощности.

Исследование процесса очистки касторового масла позволили определить удаление влаги и гидратированных фосфатидов и механических примесей с касторового масла и конструктивные параметры системы электродов. При производительности лабораторной флотационной установки 0,07 л/мин уменьшения содержания воды с 2% до 0,2% – длина электродов должна составлять 1 м, их диаметр 2 мм, при расстоянии между электродами 0,1 м и напряжении на электродах 5 кВ.

Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей времени удаления влаги и гидратированных фосфатидов и механических примесей из касторового масла от напряжения на электродах подтверждена адекватность теоретической модели экспериментальным данным (максимальный отжим теоретических величин от экспериментальных не превышает 7%) и целесообразность использования предложенного метода очистки прессового касторового масла от фосфатидов и механических примесей в электрическом поле (степень очистки за время 1000 с составляет 97%).

SUBSTANTIATION OF STRUCTURAL-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ELECTROFLOTATION INSTALLATION FOR CLEANING PRESS CASTOR OIL

V. Didur, V. Didur, I. Nazarenko

Summary

The modern oil and fat industry of Ukraine is focused only on sunflower processing. While the soil and climatic conditions of our country are such that allow the production of many other oilseeds in industrial volumes. For example, the conditions of Southern Ukraine are very favorable for the production of castor oil from which castor oil is obtained.

The physical model of flotation purification of vegetable oils is given. Based on the physical model, a technological scheme of the installation for electroflotation purification of castor oil was developed. Designed and manufactured laboratory installation for cleaning castor oil. Using the manufactured laboratory unit, experimental studies were carried out, which made it possible to substantiate the technological conditions and design parameters of the electroflotation unit for cleaning castor oil, depending on its power.

A study of the castor oil refining process allowed us to determine the removal of moisture and hydrated phosphatides and solids from castor oil and the design parameters of the electrode system. With a laboratory flotation unit productivity of 0.07 l/min, a decrease in water content from 2% to 0.2% – the length of the electrodes should be 1 m, their diameter 2 mm, with a distance between the electrodes of 0.1 m and the voltage at the electrodes of 5 kV.

Comparison of the theoretical and experimental dependences of the time of removal of moisture and hydrated phosphatides and mechanical impurities from castor oil on the voltage at the electrodes confirms the adequacy of the theoretical model to experimental data (the maximum extraction of theoretical values from experimental does not exceed 7%) and the feasibility of using the proposed method for cleaning pressor castor oil from phosphatides and mechanical impurities in an electric field (the degree of purification during 1000 s is 97%).

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВІДСТІЙНИКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ РІДИН ВІД МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК

Гулевський В. Б., к. т. н.,

Постол Ю. О., к. т. н.,

Яценко В. В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

Анотація – робота присвячена питанням очищення технічних рідин від механічних домішок. Очищення технічних рідин від механічних домішок в різних галузях промисловості визначається вдосконаленням відомих і створенням нових технологій. Незважаючи на збільшення наукових і технічних можливостей, проблема застосування магнітних відстійників для очищення технічних рідин від механічних домішок є актуальною, оскільки багато її завдань далекі від завершення і, особливо, в частині промислового освоєння наукових розробок.

Як відомо, найбільш простими пристроями для очищення технічних рідин від механічних домішок є відстійники, в основі яких лежить принцип гравітації – дія на частинки тільки масових сил тяжіння. Залежно від призначення відстійників в технологічній схемі очисної станції вони поділяються на первинні, встановлені на початку технологічної схеми перед спорудами біологічної або фізико-хімічної очистки, і вторинні – в кінці схеми після біологічної очистки.

Механічні забруднення в технічних рідинах мають різну природу. При наявності механічних забруднень, які мають магнітні властивості тривалість відстоювання можна скоротити в кілька разів і тим підвищити ефективність очищення. Використання в регенераційних технологічних схемах магнітного поля засноване на його взаємодії з частинами, які мають магнітні властивості. Головна перевага застосування магнітного очищення полягає у відмові від використання громіздких споруд для забезпечення чистоти технічних рідин.

Ключові слова – технічні рідини, магнітні відстійники, механічні домішки, очищення, феромагнітні компоненти.

Постановка проблеми. Технічний прогрес очищення технічних рідин від механічних домішок в різних галузях промисловості визначається вдосконаленням відомих і створенням нових технологій. Незважаючи на збільшення наукових і технічних можливостей, проблема застосування магнітних відстійників для очищення технічних рідин від механічних домішок є актуальною, оскільки багато її завдань далекі від завершення і, особливо, в частині промислового освоєння наукових розробок.

Як відомо, найбільш простими пристроями для очищення технічних рідин від механічних домішок є відстійники, в основі яких лежить принцип гравітації – дія на частинки тільки масових сил тяжіння. Залежно від призначення відстійників в технологічній схемі очисної станції вони підрозділяються на первинні, встановлені на початку технологічної схеми перед спорудженнями біологічного або фізико-хімічного очищення, і вторинні – у кінці схеми після біологічного очищення.

Механічні забруднення у технічних рідинах мають різну природу. При наявності механічних забруднень, які мають магнітні властивості тривалість відстоювання можна скоротити в кілька разів і тим підвищити ефективність очищення [1]. Використання в регенераційних технологічних схемах магнітного поля засноване на його взаємодії з частками, що мають магнітні властивості. Головна перевага застосування магнітного очищення полягає у відмові від використання громіздких споруд для забезпечення чистоти технічних рідин.

Аналіз останніх досліджень. В основі принципу магнітного відстійника лежить ефект взаємодії часток магнітних матеріалів із зовнішнім магнітним полем. Сила взаємодії описується виразом [2]:

$$F_m = \mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot H \cdot \frac{dH}{dl}, \quad (1)$$

де F_m – магнітна сила, яка діє на частку, Н;

μ_0 – магнітна проникність середовища, Гн/м;

χ – магнітна сприйнятливості частки, м³/кг;

V – об'єм частки, м³;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

$\frac{dH}{dl}$ – швидкість зміни напруженості магнітного поля, А/м².

Дослідження по застосуванню магнітних полів для очищення технічних рідин від феромагнітних домішок були проведені Просвірніним В. І., Загірняком М. В. та ін. [1-3]. Експериментально підтверджено, що при накладенні магнітного поля швидкість осадження часток зростає у декілька разів

Для магнітних очисників, що випускаються в Україні і за кордоном характерне різноманіття конструктивних виконань і типорозмірних модифікацій, що викликано прагненням фахівців-конструкторів врахувати різноманіття експлуатаційних чинників: продуктивність, розмір трубопроводу, щільність і температуру рідкого матеріалу, тиск, місце монтажу, рід джерела енергії (постійні магніти або постійний струм). Як було раніше встановлено ефективність магнітного осадження багато в чому залежить від того, наскільки більше магнітна сила F_m , що діє на частку, по відношенню до сили опору F_c , таким чином коефіцієнт очищення технічних рідин в магнітних відстійниках залежить від напруженості магнітного поля, швидкості течії робочої рідини, її в'язкості, розташування силових полів відносно напрямку потоку рідини та ін.

Аналізуючи існуючі конструкції магнітних відстійників [4] можна зробити висновок, що у багатьох існуючих пристроях градієнт магнітного поля завжди має постійний напрям і дрібнодисперсні частинки, які потрапляють в робочу зону, утворюють магнітні флокули, які створюють шунт, тим самим, перекриваючи дію магнітного поля в робочих зонах, що не дає можливість створити умови для ефективного вилучення феромагнітних домішок, тим самим не забезпечують необхідну якість очищення. Так, знаходячись у складі робочих середовищ, у тому числі і їх сировинних компонентів, феромагнітні домішки потрапляють на технологічно функційні поверхні устаткування, інтенсифікують знос, призводять до ушкоджень, поломок, аварійних зупинок і виходу з ладу устаткування [5, 6]. Отже, достовірна і оперативна інформація про якість очищення дуже важлива.

Таким чином питання очищення технічних рідин безпосередньо пов'язані з можливістю надійного контролю за рівнем чистоти. Також недоліком відомих конструкцій є значні капітальні і експлуатаційні витрати із-за великої металоємності і енергоємності.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Формується вирішення проблеми удосконалення конструкції електромагнітного відстійника шляхом забезпечення надійного контролю за рівнем очищення технічних рідин від феромагнітних часток в робочій камері.

Основна частина. У промислових магнітних відстійниках (періодичної або безперервної дії) використовуються пристрої, до складу яких входять такі основні елементи: вхідний патрубок 1, робоча камера 2, вихідний патрубок 7, магнітопровід 3 зібраний з Ш-подібних пластин, які зібрані у секції; в пазах секцій магнітопроводу 3 встановлена і закріплена електрична обмотка 4 (рис. 1). Поставлене завдання вирішується тим, що у

електромагнітному відстійнику після вихідного патрубку встановлений пристрій 5 для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл та зворотний патрубок 6. Таким чином, використання пристрою запропонованої конструкції дозволить виявити феромагнітні домішки та збільшити ступінь очищення технічних рідин.

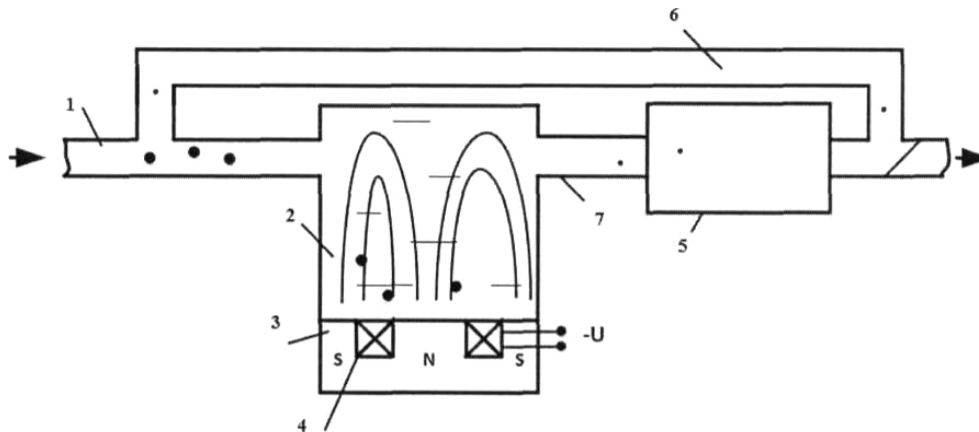


Рис. 1. Електромагнітний відстійник: 1 – вхідний патрубок; 2 – робоча камера; 3 – магнітопровід; 4 – електрична обмотка; 5 – пристрій для визначення габаритних розмірів; 6 – зворотний патрубок; 7 – вихідний патрубок

Запропонований пристрій працює таким чином: забруднена рідина подається через вхідний патрубок 1 у робочу камеру 2. Осадження флокул та феромагнітних часток до полюсів магнітопроводу 3 здійснюється у робочій камері 4 при підключенні електричної обмотки 4 до джерела постійного струму. Очищена рідина надходить у вихідний патрубок 7. Для більш точного визначення чи залишилися в рідині дрібні частинки через вихідний патрубок 7 рідина потрапляє в пристрій 5 для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл. В пристрої 5 рідина проходить сканування на визначення частинок, які залишилися після осадження. Якщо пристрій 5 виявив невилучені частинки, рідина надходить до зворотного патрубку і проходить очищення ще раз [7].

Висновки. На підставі аналізу існуючих пристроїв можна зробити висновок, що застосування запропонованого відстійника з електромагнітною системою дозволяє істотно поліпшити якість очищення технічних рідин від феромагнітних часток, також створити можливість використання безпосередньо в технологічному циклі при невеликих витратах.

Сукупність отриманих результатів є одним з вирішених наукових завдань у загальній проблемі – підвищити якість очищення технічних рідин від феромагнітних часток в робочій камері і

раціонального використання енергетичних і матеріальних ресурсів.

Література:

1. *Просвирнин В. И., Масюткин Е. П., Разоренова М. А.* Математическая модель коагуляции частиц в магнитном поле // *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2004. Вип. 24. С. 31-39.
2. *Просвирнин В. И., Масюткин Е. П., Гулевский В. Б.* Очистка технических жидкостей в магнитных отстойниках // *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2004. Вип. 24. С. 39-47.
3. *Загирняк М. В.* Устройства для магнитной очистки и регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей. Москва: Машиностроение, 1991. Вып. 6. 24 с.
4. *Просвирнин В. И., Бакулина В. А., Дюжикова Т. Н.* Расчет электромагнитных отстойников для технических жидкостей // *Труды ТДАТУ*. Мелітополь, 1999. Вып. 2, т. 8. С. 48-54.
5. *Просвирнин В. И., Гулевський В. Б., Савченко Б. В.* Вплив чистоти мастильно-охолоджувальних рідин на якість поверхні деталей при ремонті транспортної техніки // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Сер. Технології в машинобудуванні. Харків, 2008. № 22. С. 57-60.
6. *Просвирнин В. И., Гулевський В. Б., Савченко Б. В.* Аналіз забруднень мастильно-охолоджувальних рідин при відновленні деталей транспортної техніки // *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2008. Вип. 69. С. 162-167.
7. Электромагнитный відстійник: пат. 128571 Україна: МПК (2006.01): B02C 1/00, B02C 1/02. № а 201803339; заявл. 30.03.2018; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОТСТОЙНИКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Гулевский В. Б., Постол Ю. А., Яценко В. В.

Аннотація – **робота** посвящена вопросам очистки технических жидкостей от механических примесей. Технический прогресс очистки технических жидкостей от механических примесей в разных отраслях промышленности определяется совершенствованием известных и созданием новых технологий. Невзирая на увеличение научных и технических возможностей, проблема применения магнитных отстойников для очистки технических жидкостей от механических примесей является актуальной, поскольку много ее заданий далеки от завершения и, особенно, в части промышленного освоения научных разработок.

IMPROVING THE DESIGN OF MAGNETIC THE SEDIMENTATION TANKS FOR CLEANING OF TECHNICAL LIQUIDS FROM MECHANICAL IMPURITIES

V. Hulevskiy, Y. Postol, V. Yatsenko

Summary

The technical progress of cleaning technical liquids from mechanical impurities in various industries is determined by the improvement of the known and the creation of new technologies. Despite the increased scientific and technical capabilities, the problem of using magnetic clarifiers for cleaning technical fluids from mechanical impurities is relevant, since many of its tasks are far from accomplishment and, especially, in terms of industrial development of scientific developments.

The use of magnetic fields in regeneration technological schemes is based on its interaction with impurities that have magnetic properties. The main advantage of using magnetic cleaning is to avoid the use of bulky structures to ensure the purity of technical fluids. Depending on the purpose of the sedimentation tanks in the technological scheme of the purification station, they are divided into primary, installed at the beginning of the technological scheme before biological or physico-chemical cleaning facilities, and secondary – at the end of the scheme after biological treatment.

Mechanical impurities in industrial fluids are of a different nature. In the presence of mechanical impurities that have magnetic properties, the settling time can be reduced by several times and thereby increase the cleaning efficiency. The use of a magnetic field in regenerative technological schemes is based on its interaction with parts that have magnetic properties. The main advantage of using magnetic cleaning is the elimination of the use of bulky structures to ensure the purity of technical fluids.

Based on the studies, the following conclusions were made:

1. There is no need to interrogate the most frequent parts of the same frequency as before.

2. Sufficiency of clear results is one of the most important problems for foreign problems is that of cleaning up the technical part of the ferromagnet parts in the working chamber and the regional energy resource.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Тиховод С. М., д. т. н.,

Афанасьева И. О., к. т. н.,

Романиченко Г. Н., инж.,

Козлов В. В., инж.

Запорожский национальный технический университет

e-mail: stikhovod@gmail.com

Аннотация – динамика разгона асинхронного двигателя зависит от ряда параметров двигателя (факторов). Выполнение экспериментов с перебором всех возможных значений факторов является непреодолимой задачей. Поэтому для сокращения количества выполняемых экспериментов используют планирование эксперимента. В статье рассмотрено планирование эксперимента, чтобы найти значения факторов, при которых достигается максимум целевой функции – частоты вращения Ω за заданное время t_{end} . Разработаны универсальные компьютерные программы могут применяться для определения положения оптимума целевой функции любого устройства.

Ключевые слова – переходные электромеханические процессы, планирование эксперимента, факторы, асинхронный двигатель.

Постановка задачи. Пуск асинхронного двигателя (АД) приводит к возникновению электромеханического переходного процесса. Динамика разгона зависит от ряда параметров двигателя (факторов). Выполнение экспериментов с перебором всех возможных значений факторов является непреодолимой задачей. Поэтому для сокращения количества выполняемых экспериментов используют планирование эксперимента. Рассмотрим пуск двухфазного конденсаторного двигателя с фазным ротором. Факторами будем считать активное сопротивление цепи фазного ротора, а также емкость C_p фазосдвигающего конденсатора. Целевой функцией будем считать частоту вращения Ω , которая достигается за заданное время t_{end} . Будем использовать планирование эксперимента, чтобы найти значения факторов, при которых достигается максимум целевой функции.

Планирование эксперимента предполагает выполнение эксперимента физического или компьютерного, использующего адекватную математическую модель. Мы будем использовать компьютерный эксперимент.

Для моделирования переходных процессов в электрических машинах, в настоящее время используется ряд универсальных программных комплексов. Наиболее распространенными являются пакеты EMTP [1], PSpice [2], Simulink [3]. Электромеханические переходные процессы могут быть весьма продолжительными, что требует значительного компьютерного времени для моделирования. Поэтому для моделирования выбран усовершенствованный метод численного решения уравнений состояния АД, который приводит к сокращению времени моделирования и повышению точности расчета [4]. В работе [4] приведены уравнения двухфазной электрической машины, которые записываются в системе координат dq , вращающейся с частотой вращения ротора Ω . На основании математической модели [4] разработана компьютерная программа `Motor_as_ab_fun_c` на языке Matlab. Целевой функцией будем считать частоту вращения, которая достигается за заданное время t_{end} . Поскольку используется малое число факторов $k=2$, то достаточно использовать полный факторный эксперимент (ПФЭ) [5]. Использовать планирование эксперимента будем в два этапа. Первоначально выполняется линейное планирование, чтобы приблизиться к области оптимума. В квазистационарной области используется квадратичное планирование, которое позволит создать простую адекватную модель целевой функции.

Чтобы можно было использовать ПФЭ для приближения к оптимуму произвольной целевой функции, разработана универсальная компьютерная программа `PFE_3_1_M`. Программа начинается с обращения к подпрограмме `dataPFE_3_1`, задающей исходные данные и название подпрограммы-функции моделирования двухфазного конденсаторного двигателя: `[X0,fun]=dataPFE_3_1`. В данном случае идентификатор `fun` получает значение `Motor_as_ab_fun_c` – название подпрограммы. Для каждого объекта моделирования необходима особая подпрограмма.

В программе `PFE_3_1_M` значения обоих факторов нормируются, становятся безразмерными и обозначаются x_1, x_2 . Область их изменения находится в пределах $[-1,+1]$. Для движения к точке оптимума нам нужна линейная модель:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (1)$$

где x_1, x_2 – безразмерные факторы;
 y – целевая функция.

Требуется найти по результатам эксперимента значения неизвестных коэффициентов модели. Для этого строится матрица планирования, которая приведена в табл. 1. В этой матрице единицы опущены, оставлены только знаки.

Таблица 1 – Матрица планирования линейного полного факторного эксперимента

№ опыта	x_1	x_2	x_1x_2	y
1	–	–	+	y_1
2	+	–	–	y_2
3	–	+	–	y_3
4	+	+	+	y_4

Данная матрица планирования обладает общими фундаментальными свойствами [5]: симметричность, условие нормировки, ортогональность, ротатабельность. Эти свойства позволяют определить независимые коэффициенты линейного полинома, которые определяют направление крутого восхождения к точке оптимума. Матрица планирования записывается как:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Значения целевой функции y в четырех точках составляют вектор \mathbf{Y} .

Согласно [5] вычисляется вспомогательная матрица

$$\mathbf{C} = \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X}. \quad (3)$$

Тогда вектор коэффициентов полинома (1) определяется как:

$$\mathbf{B} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{Y}. \quad (4)$$

Зная коэффициенты b_1, b_2 определяется направление движения по градиенту, вдоль которого с определенным шагом выполняется расчет целевой функции.

Такое движение по направлению градиента выполняется до тех пор, пока значение целевой функции возрастает. Как только значение целевой функции начинается убывать, движение прекращается, и значения факторов принимаются как значения текущего оптимума.

Эти значения принимаются далее, как начальные значения для следующего эксперимента. В окрестности этой точки определяются значения целевой функции, которые заново составляют вектор \mathbf{Y} и, согласно (4), вычисляется вектор коэффициентов полинома \mathbf{B} . Определяется новое направление движения по градиенту. Вновь

выполняется движение по направлению градиента, вдоль которого с определенным шагом выполняется расчет целевой функции до достижения максимума. После 2-3 таких экспериментов приближение к точке оптимума замедляется, поэтому продолжение таких экспериментов нецелесообразно.

Планы второго порядка позволяют сформировать функцию отклика в виде полного квадратичного полинома, который более точно аппроксимирует функцию отклика, чем линейный полином. Полный квадратичный полином содержит больше членов, чем линейный полином, сформированный по планам первого порядка. Планы второго порядка требуют большего числа выполняемых опытов.

Полный квадратичный полином при числе факторов $k = 2$ содержит 6 членов:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (5)$$

Если уже был ранее сформирован линейный план ПФЭ, то мы можем достроить этот план до плана второго порядка (композиционный план) и сформировать функцию отклика в виде полного квадратичного полинома, без потери информации о ранее сделанных опытах. Каждый фактор должен дополнительно фиксироваться в двух «звездных» точках, а также в центральной точке. Таким образом, при $k = 2$ мы должны иметь 9 опытов.

Матрица планирования, показанная в табл. 2, обладает всеми фундаментальными свойствами. Эти свойства позволяют определить независимые коэффициенты квадратичного полинома. Коэффициенты полинома (5) могут быть определены по формуле (4).

Таблица 2 – Матрица планирования при $k = 2$

	i	x_0	x_1	x_2	$x_3=x_1x_2$	$x_4=x_1^2-a$	$x_5=x_2^2-a$	y
ПФЭ 2^2	1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	y_1
	2	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	y_2
	3	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	y_3
	4	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3	y_4
Звездные точки	5	+1	-1	0	0	1/3	-2/3	y_5
	6	+1	+1	0	0	1/3	-2/3	y_6
	7	+1	0	-1	0	-2/3	1/3	y_7
	8	+1	0	+1	0	-2/3	1/3	y_8
Нулевая	9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	y_9
Σx_{ij}		N	0	0	0	0	0	

где для $k = 2$ $a = 0,667$ [6].

Для выполнения квадратичного планирования разработана универсальная программа PFE_3_2_M. В этой программе по девяти

значениям целевой функции, вычисляемых по подпрограмме dataPFE_3_1, автоматически вычисляются коэффициенты регрессии, и строится график целевой функции в квазистационарной области. Этот график, приведенный на рис. 1, позволяет наглядно отобразить вид целевой функции вблизи экстремума.

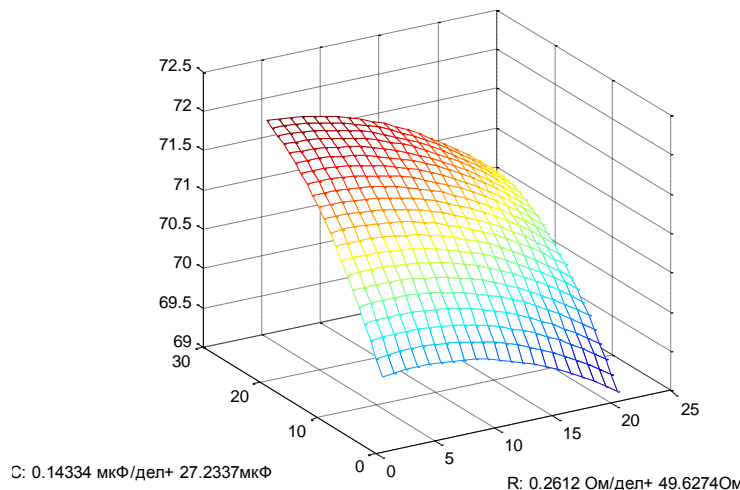


Рис. 1. Зависимость скорости вращения от значений факторов

Универсальные программы PFE_3_1_M и PFE_3_2_M могут использоваться для определения положения оптимума целевой функции любого устройства. Для этого необходимо иметь адекватную математическую модель устройства, подпрограмму вычисления целевой функции и подпрограмму задания исходных данных. При этом основные программы изменять не требуется

Выводы. Разработанные на основании представленного алгоритма программы хорошо показали себя при определении оптимальных значений факторов, обеспечивающих максимальный разгон асинхронного двигателя. Эти программы могут использоваться для определения значений факторов, обеспечивающих оптимум целевой функции любого устройства.

Литература:

1. *Domtel H. W.* EMTP theory book. British Columbia: Microtran Power System Analysis Corporation. Vancouver, 1996. 631 p.

2. *Кеон Д.* OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 640 с.

3. *Черных И. В.* Simulink среда создания инженерных приложений. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.

4. Метод численного расчета электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях / К. В. Мищенко и др. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2019. № 1.

5. *Адлер Ю. П.* Введение в планирование эксперимента.

Москва: Металлургия, 1969. 320 с.

Б. Ивоботенко Б. А., Ильинский Н. Ф., Копылов И. П. Планирование эксперимента в электромеханике. Москва: Энергия, 1971. 185 с.

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Тиховод С. М., Афанасьєва І. О., Романиченко Г. М., Козлов В. В.

Анотація – динаміка розгону асинхронного двигуна залежить від ряду параметрів двигуна (факторів). Виконання експериментів з перебором всіх можливих значень факторів є неперекладним завданням. Тому для зменшення кількості виконуваних експериментів використовують планування експерименту. Електромеханічні перехідні процеси можуть бути тривалими у часі, що вимагає значних комп'ютерних ресурсів для моделювання. Тому для моделювання обрано удосконалений метод числового рішення рівнянь стану двигуна, який призведе до скороченню часу моделювання та підвищенню точності розрахунків.

У статті розглянуто планування експерименту, щоб знайти значення факторів, при яких досягається максимум цільової функції – частоти обертання Ω за заданий час t_{end} .

Об'єктом дослідження є двофазний конденсаторний двигун з фазним ротором. Факторами є активний опір кола фазного ротора, а також ємність фазозсувного конденсатора. Планування експерименту передбачає виконання експерименту фізичного або комп'ютерного, що використовує адекватну математичну модель. У статті розглянуто використання комп'ютерного експерименту – запуску підпрограми, що моделює розгін асинхронного двигуна при заданих значеннях факторів. Оскільки використовується мале число факторів k , то використано повний факторний експеримент. Планування експерименту проведено в два етапи. Спочатку застосовується лінійне планування, щоб наблизитися до області оптимуму. Визначаються коефіцієнти лінійного полінома, які задають напрямок крутого сходження до точки оптимуму. Такий рух у напрямку градієнта дозволяє наблизитися до точки оптимуму. У квазістаціонарній області в другому етапі використовується квадратичне планування, яке дозволить створити модель цільової функції і визначити її вид.

Розроблені універсальні комп'ютерні програми можуть застосовуватися для визначення положення оптимуму цільової функції будь-якого пристрою.

EXPERIMENT SCHEDULING FOR THE CHOICE OF OPTIMAL VALUES OF PARAMETERS FOR AN ASYNCHRONOUS ENGINES

S. Tikhovod, I. Afanasyeva, G. Romanichenko, V. Khozlov

Summary

Start dynamic of an asynchronous engine depends on parameters series of the engine (factors). Realization of experiments by the way of looking over all possible values of factors is an insurmountable task. Therefore scheduling of an experiment for reduction of the carried-out number of experiments is used. Electromechanical transients can be lengthy. This requires significant computer time for simulation. Therefore, an improved method for the numerical solution of the equations of state of an induction motor was chosen for simulation, which leads to a reduction in simulation time and an increase in the accuracy of calculations. In this article scheduling of an experiment is considered to find factors values at which the maximum of target function (rotation frequency Ω) for the given time t_{end} is reached.

Object of a research is the two-phase condenser engine with a phase rotor. Factors are the active resistance of a phase rotor circuit and also capacity of the phase-shifting condenser. Scheduling of an experiment assumes realization of physical or computer experiment, using adequate mathematical model. Application of a computer experiment using of the subprogram for modeling stage of start an asynchronous engine at the preset values of factors is considered in this article. As there is a little number of factors k , the complete factorial experiment is used. Scheduling of an experiment is carried out in two steps. First of all the linear programming is applied to approach area of an optimum. Coefficients of the linear polynomial which setup the direction of abrupt ascent to an optimum point are defined.

The developed universal computer's programs can be applied to definition of an optimum of target function location for any device.

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПИТОМОЇ
ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО
ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СТАЦІОНАРНИМ
КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО
ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ**

Броварець О. О., к. т. н.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

e-mail: brovaretsnau@ukr.net

Анотація – сучасне землеробство передбачає виконання певної технологічної операції, згідно відповідної картографічної завдання, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації. Знання певної структури варіабельності ґрунтового покриву, отримані з використанням інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, дозволяє прийняти оперативні рішення для ефективного управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь.

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

У зв'язку, з цим ставиться завдання отримання достовірних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища шляхом зменшення похибки при визначенні величини електропровідних властивостей ґрунту, забезпечення індивідуальної стабілізації робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів, копіювання нерівностей ґрунтового середовища, зменшення інтенсивності

руйнування структури ґрунту, самоочищення робочого контакту електроду і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом, шляхом удосконалення конструкції приладу. Поставлене завдання досягається шляхом використання інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища.

Метою даного дослідження є визначення критичного навантаження при втраті стійкості тонкостінними робочими електродами виконаними у вигляді робочих електродів різної форми (тонкостінних суцільних, трьохспицевих та чотирьохспицевих дисків з різною товщиною ободу) інформаційно-технічної системи локального-оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища різної конфігурації при односторонньому стисканні.

Ключові слова – інформаційно-технічна система, локальний оперативний моніторинг, ґрунт, проби, варіабельність, величина, дослідження.

Постановка проблеми. Один з головних підходів при застосуванні технологій точного землеробства – оптимізувати урожайність і забезпечити екологічну якість сільськогосподарської продукції із врахуванням зон управління сільськогосподарським полем. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для визначення величини прибутку на основі даних просторової мінливості та вмісту поживних речовин у ґрунті. Знання певної структура варіабельності ґрунтового покриву дозволяє прийняти ефективні рішення для управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь [1].

Огляд сучасних літературних джерел та наукових розробок [1] показує, що останніми роками відбувається процес інтеграції натурального (органічного, або біологічного), біодинамічного, екстенсивного, інтенсивного (промислового) та no-till землеробства з новітніми технологіями, зокрема з інформаційно-технічними системами локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Сучасне сільськогосподарське виробництво передбачає широке використання автоматизованих систем для моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Втілення сучасних технологій землеробства дозволяє планувати витрати насіннєвого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати

загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте, на сьогодні при реалізації даних технологій бракує ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2-4].

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

У зв'язку із цим важливим завданням є розробка і обґрунтування сучасної інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Аналіз останніх досліджень. Структура ґрунту змінюється в значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, як наприклад ґрунтова структура, мають прямий ефект на водомісткість, ємність катіонного обміну, урожайність тощо. Поживні речовини, що містяться у ґрунтах, використовуються рослиною і їх вміст у ґрунті зменшуються. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунті є вміст азоту, наявність якого значною мірою визначає урожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності, широко використовується як ефективний засіб відображення ґрунтової структури і інших ґрунтових властивостей [5]. Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь – важливий компонент для зональних методів управління [6].

Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися при відборі проб (рис. 1).

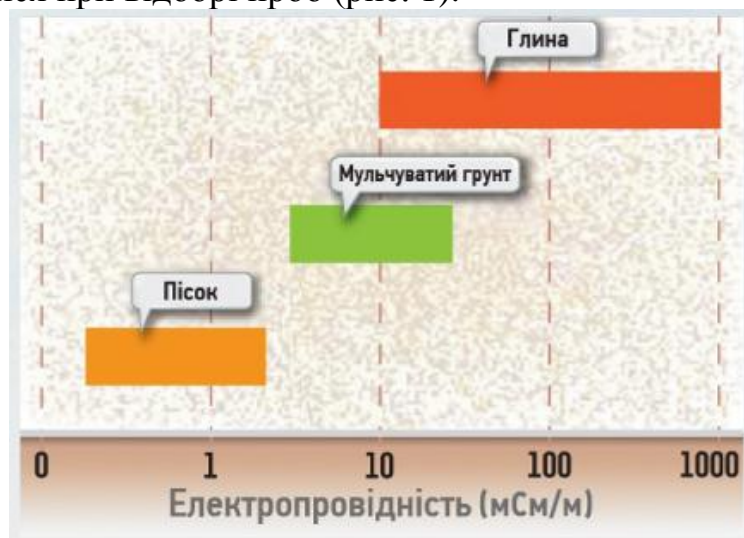


Рис. 1. Електропровідність ґрунту

Карти ґрунтової електропровідності дають можливість отримати картограми:

- змінних норм внесення технологічного матеріалу (насіння і мінеральних добрив) на основі очікуваної врожайності по кожній окремій ділянці, розраховані виходячи з величини електропровідності;
- змінні норми внесення насіння на основі даних про глибину верхнього (орного) шару ґрунту;
- змінні норми внесення в ґрунт гербіцидів на основі даних про органічні речовини, структуру ґрунту і електропровідності;
- змінні норми внесення вапна на основі даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища відповідно до рівнів електропровідності.

Для картографування ґрунту приладом EC Veris 3100 використовується позашляховик, який оснащено бортовим комп'ютером з технологією паралельного водіння, GPS-приймачем, (рис. 2) та причіпним агрегатом з дисками (з розміщеними в дисках електродами). При проведенні вимірювань, агрегат рухається по полю із зануреними в ґрунт дисками на глибину 2-5 см, одна пара ізольованих електродів вводить електричний струм у ґрунт, інші електроди вимірюють струм, що змінюється в залежності від опору ґрунту [4].

Причіпний агрегат Veris тягнеться по полю, одна пара ізольованих електродів вводить електрострум в ґрунт, а інша пара вимірює падіння напруги, яка буде відрізнятися – так наприклад, глина проводить струм краще, ніж мул або пісок. Заміри електропровідності поєднуються з даними GPS і наочно відображаються у вигляді карти. Veris 3100 використовує два промені електропровідності для картографування двох глибин ґрунтів (0-30,5 см і 0-91,5 см) одночасно.



Рис. 2. Пристрій EC Veris 3100

Veris 3100 формує два набори карт – карту поверхневого шару (30,5 см) і карту захоплюючу кореневу зону (91,5 см). Карта верхнього шару часто використовується для вибору місць забору проб, а більш

глибока карта – для визначення норми внесення добрив (особливо азотних) [5].

Дані пристрої надто вартісні та дають значну похибку при вимірюваннях, це створює умови для подальшого дослідження даних систем.

Метою даного дослідження є розробка ефективної інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця.

Основна частина. Вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища. Електропровідність (soil conductivity) – це властивість матеріалу передавати (проводити) електричний струм, вимірювана в сименсах на метр (См/м) або в миллісименсах на метр (мСм/м).

Сфера використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця. Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця – пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця може працювати з ручними пристроями, розміщуватися на транспортних засобах високої прохідності, розміщуватися на сільськогосподарських та енергетичних засобах, які виконують технологічну операцію, що дозволяє отримувати оперативні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища та приймати оперативні рішення щодо керування нормою внесення технологічного матеріалу (насіння, мінеральних добрив тощо).

Всі раніше декларовані елементи таких технологій точного (керованого) землеробства (лабораторний аналіз (одна проба на 5-10 га), урожайність) не давали можливості забезпечити такий точний підхід. Ця система дає можливість отримати достовірну інформацію про агробіологічний стан ґрунтового середовища із кожного квадратного метра сільськогосподарського поля.

Такої точності до сих пір не мають жодні представлені на ринку технології починаючи від лабораторного обстеження (одна проба на 5-10 га) і закінчуючи супутниковим моніторингом (точність до 10 м²). Крім того необхідно враховувати вартість даних технологій, оскільки собівартість однієї проби коливається в межах 1-10\$, супутникового моніторингу – від 20\$, у той час коли вартість такої проби з використання запропонованої конструкції технічної системи оперативного моніторингу складає менше 0,1\$ за м² (табл. 1).

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища дає можливість оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища,

забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища (рис. 3).

Таблиця 1 – Методи моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь

№	Метод моніторингу стану агробіологічного стану	Щільність відбору проб ґрунту на 100 га	Розмір ділянки з якої проводиться забір, м ²	Вартість однієї проби (знімку), \$, ум. од.	Вартість проби (знімку) на 100 га, \$, ум. од.
1	Лабораторний метод	10-15	10 000*1000	1-10	100-1000
2	Супутниковий моніторинг	1 знімок роздільною здатністю до 10 м	100*100	10-100	100-1000
3	Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	1000	10*10	0,1	100
4	Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	10000	1*1	0,1	1000

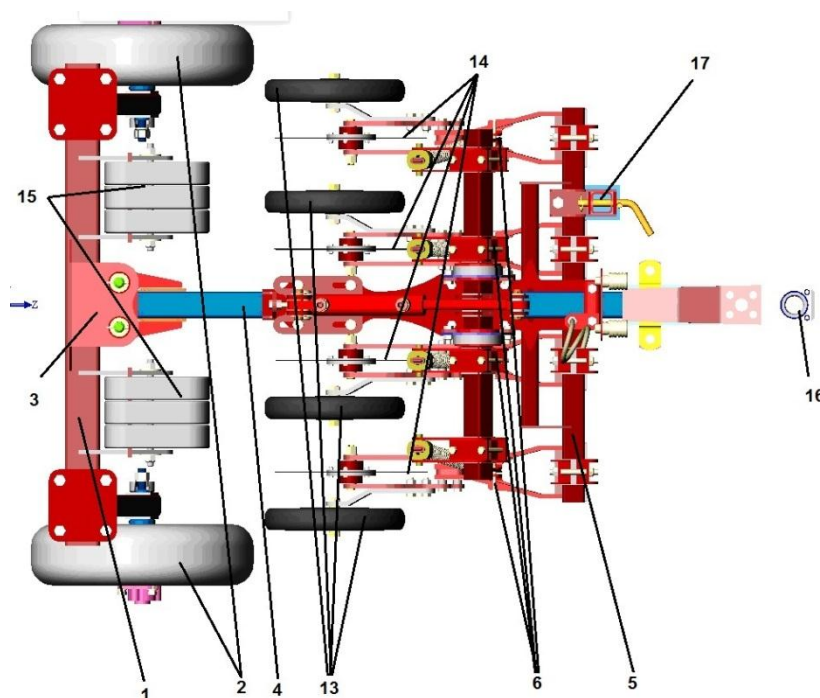


Рис. 3. Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища використовують: перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

На рис. 3 зображено загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид зверху), рис. 4 зображено загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид збоку).

Таке технологічне рішення дасть можливість забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця складається (рис. 4) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, повздожньої рами 4, поперечної рами 5, шарнірів 6, важелів 7, стояків-пружин 8, кронштейну 9, обертового валу 10, гідроциліндру 11, кронштейну кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопу 16 та підставка 17.

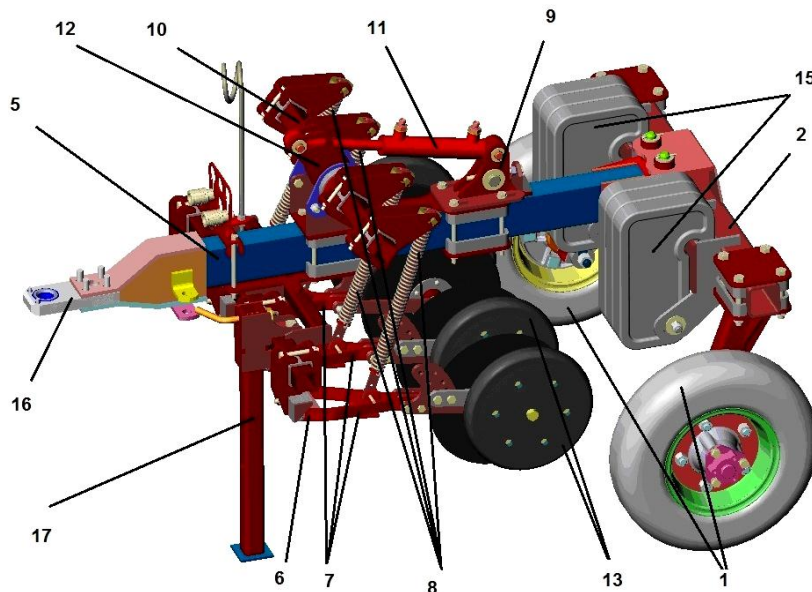


Рис. 4. Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища

При використанні такого пристрою є значна похибка при визначенні, яка обумовлена тим, що під час виконання робочого процесу порушується стабільність контакту диска-електрода з ґрунтом, що викликано поперечними відхиленнями робочих дисків-електродів відносно прямолінійного напрямку руху, обумовленого конструкцією пристрою, відсутністю копіювання нерівностей

поверхні поля дисками-електродами. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати із ґрунтом.

Важливим параметром при вимірюванні електропровідних характеристик ґрунтового середовища є забезпечення стабільної площі контакту робочих електродів з ґрунтом. Наявні конструкції не повністю виконують зазначені умови, що негативно впливає на достовірність отриманої інформації. У зв'язку з цим виникла необхідність у розробці конструкції, яка б забезпечувала стабільність робочих електродів з ґрунтом під час вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

Для унаочнення недоліків наявної конструкції та переваг розробленої конструкції подано їхні схеми на рис. 5.1, рис. 5.2, рис. 6.

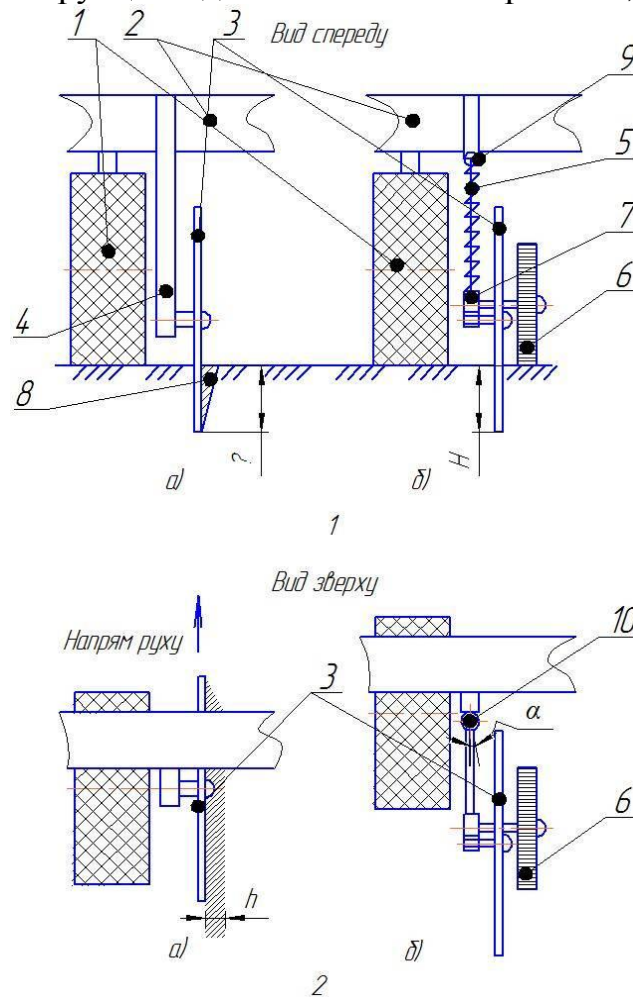


Рис. 5. Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид спереду, вид зверху): а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція; 1 – опорне колесо; 2 – рама; 3 – робочий електрод; 4 – стойка; 5 – вертикальна стійка підвіски; 6 – копіювальне колесо; 7 – регулювальний механізм глибини колеса; 8 – утворена робочим

електродом борозна; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

Варто сказати, що наявна і розроблена (рис. 5.1, рис. 5.2, рис. 6) конструкція систем має ряд спільних елементів, зокрема спільними елементами є: 1 опorne колесо, 2 рама, 3 робочий електрод. Далі наявна система містить 4 стояк, який жорстко з'єднаний з рамою, тому при русі сільськогосподарськими угіддями така система може утворювати борозни шириною h , внаслідок виникнення кутів крену, деференту та рискання, зумовлених не прямолінійним рухом агрегатів, внаслідок їхнього відхилення або поворотів. У свою чергу, це сприяє виникненню похибок вимірювання електропровідних параметрів ґрунтового середовища, оскільки одна сторона диску взагалі не контактує з ґрунтом (рис. 5.2, а).

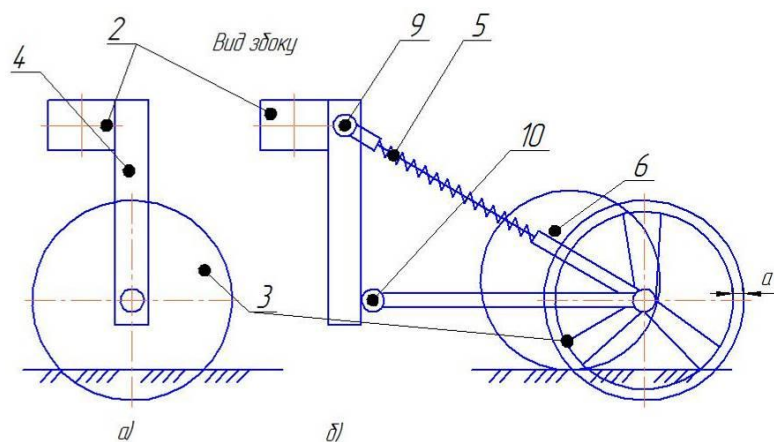


Рис. 6. Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид збоку): а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція; 2 – рама; 3 – робочий електрод; 4 – стойка; 6 – опorne колесо; 5 – вертикальна стійка підвіски; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

У розробленій конструкції така проблема виключена внаслідок компенсації таких кутів частково за рахунок підвіски, а частково – верхніми та нижніми шарнірами підвіски розробленої конструкції, які дозволяють компенсувати поперечне відхилення α у межах 15-20 градусів, при цьому забезпечити стабільний контакт електродів з ґрунтом. З використанням копіювальних коліс 6 (рис. 4.1, 4.2, рис. 5) у наявній конструкції чітко забезпечується глибина H руху робочих електродів у ґрунті. У наявній конструкції (рис. 4.1, рис. 4.2, рис. 5.) вона змінюється внаслідок кутів деференту, обумовлених коливанням та поперечним переміщенням конструкції системи під час руху нерівностями поверхні поля.

Загальними принциповими відмінностями інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища – пристрою для

визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища є:

1. Наявність копіювального колеса, яке визначає глибину ходу робочого електроду в ґрунті H .

2. Підвіска опорного колеса та робочих електродів.

3. Трьохспицевий тонкостінний металевий диск з ободом для забезпечення стабільної площі контакту електродів з ґрунтом.

4. Шарнірне розміщення важільної підвіски робочих електродів з ґрунтом для компенсації кутів крену, деференту та рискання, обумовлених рухом машинно-тракторного агрегату інформаційно-технічною системою оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця та забезпечення стабільного контакту робочих електродів з ґрунтом.

Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту (ρ) стаціонарним контактним методом.

Технічний результат, який досягається з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового є:

1. Забезпечення стабільного контакту електродів з ґрунтом: внаслідок компенсації кутів крену, деференту та рискання, обумовлених рухом технічної системи.

2. Визначення глибини входження робочого електроду в ґрунт з використанням копіювального колеса.

3. Зменшення приросту площі на одиницю глибини/входження в ґрунт робочого електроду, обумовленого конструкцією трьохспцевого тонкостінного металевого диску з ободом у розробленій конструкції.

4. Відсутність утворення борозни робочими електродами внаслідок компенсації кута рискання верхніми та нижніми шарнірами підвіски кута α .

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища дає можливість оперативно визначити зони варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища та ідентифікувати їх подальшим лабораторним аналізом.

Таке технологічне рішення дасть можливість забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту (σ) стаціонарним контактним методом.

Виведемо формулу для визначення питомої електропровідності. Спроекуємо еквівалентну розрахункову схему інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища (рис. 7).

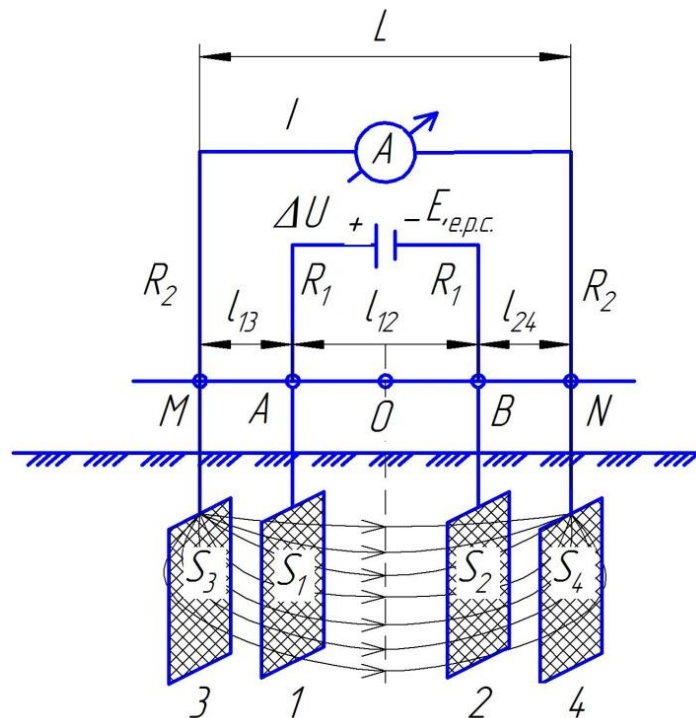


Рис. 7. Розрахункова схема вимірювання питомої електропровідності ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища

Спроекуємо еквівалентну розрахункову схему інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища (рис. 8).

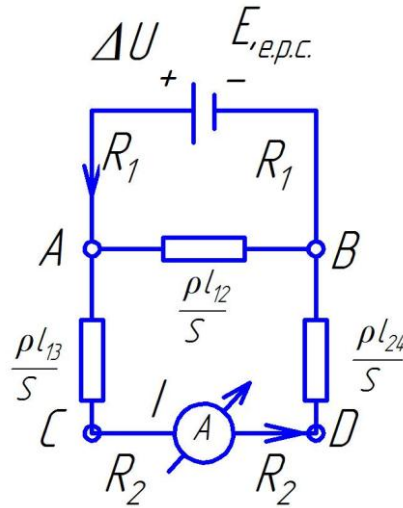


Рис. 8. Еквівалентна розрахункова схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища

$$I = \frac{E_{e.p.c.}}{R_{нов} + r} = \frac{E_{e.p.c.}}{R_{AB} + 2R_1 + r}; \quad (1)$$

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot \left(\frac{\rho \cdot l_{13}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S} + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}{\left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{13}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S} + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}; \quad (2)$$

$$U_{AB} = E_{e.p.c.} - I \cdot 2 \cdot R_1 - I \cdot r = E_{e.p.c.} - I \cdot (2 \cdot R_1 + r). \quad (3)$$

$$I_A = \frac{U_{AB}}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})} = \frac{E_{e.p.c.} - I \cdot (2 \cdot R_1 + r)}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})} = \frac{E_{e.p.c.} - \frac{E_{e.p.c.} \cdot (2 \cdot R_1 + r)}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})}; \quad (4)$$

$$I_A = \frac{E_{e.p.c.} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R_1 + r}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r} \right)}{\left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) \right)}; \quad (5)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) \right) = E_{e.p.c.} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R_1 + r}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r} \right). \quad (6)$$

Звідси,

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot \left(\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}{\left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot (l_{13} + l_{24} + l_{24}) + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}; \quad (7)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) \right) = \frac{E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}; \quad (8)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) \right) \cdot (R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r) = E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}; \quad (9)$$

Для спрощення розв'язку рівняння (9) вважаємо, що $(R_1, R_2, r) \ll \left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S}, \frac{\rho \cdot l_{24}}{S}, \frac{\rho \cdot l_{13}}{S} \right)$, тобто опір внутрішньої батареї, опори проводів (R_1, R_2) та R_{AMT} (ідеальна) $\rightarrow 0$.

Тобто задача суттєво спрощується.

$$R_{AB}^* = \frac{\rho \cdot l_{12} \cdot (l_{13} + l_{24})}{(l_{12} + l_{13} + l_{24})}. \quad (10)$$

Рівняння набуває вигляду:

$$I_A \cdot \left(\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) \right) \cdot R_{AB}^* = E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}^*; \quad (11)$$

$$\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) = \frac{E_{e.p.c.}}{I_A}; \quad (12)$$

$$\rho = \frac{E_{e.p.c.} \cdot S}{I_A \cdot (l_{13} + l_{24})}. \quad (13)$$

Питома провідність ґрунту визначається згідно формули:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (14)$$

Одиниці вимірювання:

$$[\sigma] = \frac{\text{Сімен}}{\text{м}}, [E_{e.p.c.}] = \text{В}, [I_A] = \text{А}, [l_{13}, l_{24}] = \text{м}, [S] = \text{м}^2.$$

Тоді

$$\sigma = \frac{I_A \cdot (l_{13} + l_{24})}{E_{e.p.c.} \cdot S}. \quad (15)$$

Знаючи l_{13} , l_{24} , S , $E_{e.p.c.}$ батареї та вимірюючи струм I_A знайдемо σ електропровідність ґрунту.

Висновки. Запропонована методика розрахунку питомої електропровідності агробіологічного ґрунтового середовища стаціонарним контактним методом робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу дозволить отримати достовірні дані про стан ґрунтового середовища, шляхом

зменшення похибки при визначенні величини електропровідних властивостей ґрунту; забезпечити індивідуальну стабілізацію робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів; копіювання нерівностей ґрунтового середовища; зменшення інтенсивності руйнування структури ґрунту; самоочищення робочого контакту електроду і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом, шляхом удосконалення конструкції приладу з використанням запропоновано методики.

Результатом використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції є отримання підвищення прибутку на 20-30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Література:

1. Техніка для землеробства майбутнього / *В. В. Адамчук* та ін. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2002. Вип. 86. С. 20-32.

2. *Броварець О.* Від безплужного до глобального розумного землеробства // Техніка і технології АПК. 2016. № 10. С. 28-30.

3. *Броварець О. О.* Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця // Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агроінженерні дослідження. 2017. № 21. С. 9-29.

4. *Вадюнина А. Ф.* К оценке электропроводности как метода определения влажности почв // Почвоведение. 1937. № 3. С. 391-404.

5. *Воробьев Н. И.* К вопросу кондуктометрического определения засоленности почв и грунтов // Почвоведение. 1955. № 4. С. 103.

6. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. [Дата введения 1986-01-01]. Москва, 2011. 7 с.

7. *Гуков Я. С., Линник Н. К., Мироненко В. Г.* Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений // Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия. Рязань, 2001. С. 48-50.

8. *Копикова Л. П.* Опыт применения методов электропроводности для составления детальных почвенномелиоративных карт // Бюллетень ВИУА. 1979. № 43. С. 21-23.

9. *Масло И. П., Мироненко В. Г.* Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту

рослин // Розробки-виробництву. Київ: Аграрна наука, 1999. С. 348-349.

10. *Медведев. В. В.* Неоднородность почв и точное земледелие. В 2 ч. Ч. I. Введение в проблему. Харьков, 2007. 296 с.

11. *Орманджи К. С.* Контроль качества полевых работ. Москва: Росагропромиздат, 1991. 191 с.

12. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалю. Київ: Аграрна наука, 2004. 398 с.

13. *Brovarets O., Chovnyuk Y.* Modeling and analysis of efficient electromagnetic parameters of capillary system of electrical conductivity of agricultural soils i: method of analysis of non-stationary electromagnetic fields in dispersive and controlled environments // MOTROL. 2018. Vol. 19, № 4. P. 13-18.

14. *Brovarets O., Chovnyuk Y.* Technical – economic models of business management in the processes of agricultural production // ECONTECHMOD. An international quarterly journal. 2017. Vol. 6, № 3. P. 61-70.

15. *Brovarets O., Chovnyuk Y.* Chovnyuk. Integrated systems of management for the performance of technological processes in agricultural production which depend on the initial and final moments of their operation time // Teka. 2017. Vol. 17, № 2. P. 79-90.

16. *Brovarets O.* Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling // Teka. 2017. Vol. 17, № 3. P. 49-53.

17. *Hertz A. C., Hibbard D. C. J.* A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production // Farm Economics. 1993. Is. 14. P. 218-231.

18. *Wilcox G. G.* Determination of electrical conductivity of soil solutions // Soil Science. 1947. Vol. 63. 107 p.

19. *Ewart G. Y., Baver L. D.* Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships // Soil Scien. Soc. Amer. 1950. Vol. 15. P. 56-63.

20. *Rhoades J. D., Schifgaarde J. Van.* An electrical conductivity probe for determining soil salinity // Soil Scien. Soc. Amer. J. 1976. № 5. P. 647-651.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ
АГРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ
СТАЦИОНАРНЫМ КОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ РАБОЧИХ
ЭЛЕКТРОДОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО
МОНИТОРИНГА**

Броварец О. О.

Аннотация – современное земледелие предполагает выполнение определенной технологической операции, согласно соответствующей картограммы-задачи, которая разрабатывается предварительно на основе разнообразной информации. Знание определенной структуры variability почвенного покрова, полученные с использованием информационно-технических систем локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий, позволяют принять оперативные решения для эффективного управления агробиологическим потенциалом сельскохозяйственных угодий.

Очевидно, что при таких условиях возникает необходимость в принципиально новых подходах к ведению агропромышленного производства, заключающихся в обеспечении надлежащего качества выполнения технологических операций. Качество выполнения технологических операций является интегральным показателем эффективности производства сельскохозяйственной продукции в пределах агробиологического поля. Необходимое качество выполнения основных технологических процессов в растениеводстве обеспечивается за счет интегрированных информационно-технических систем оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий. Это открывает новые перспективы для ведения органического земледелия с использованием таких «умных» сельскохозяйственных машин.

В связи с этим ставится задача получения достоверных данных о агробиологическом состоянии почвенной среды путем уменьшения погрешности при определении величины электропроводящих свойств почвы, обеспечения индивидуальной стабилизации рабочих электродов и механизма подъема / опускания рабочих электродов, копирования неровностей почвенной среды, уменьшения интенсивности разрушения структуры почвы, самоочистка рабочего контакта электрода и

обеспечения стабильности электрического контакта электрода с грунтом, путем усовершенствования конструкции прибора. Поставленная задача достигается путем использования информационно-технической системы оперативного мониторинга состояния почвенной среды для определения электропроводящих характеристик почвенной среды.

Целью данного исследования является определение критической нагрузки при потере устойчивости тонкостенными рабочими электродами выполненными в виде рабочих электродов различной формы (тонкостенных сплошных, трехспицевых и четырехспицевых дисков с разной толщиной обода) информационно-технической системы локального-оперативного мониторинга агробиологического состояния почвенной среды различной конфигурации при одностороннем сжатии.

**CALCULATION METHOD OF SPECIFIC ELECTRIC
CONDUCTIVITY OF AGROBIOLOGICAL SOIL ENVIRONMENT
STATIONARY CONTACT METHOD OF WORKING
ELECTRODES INFORMATION-TECHNICAL
LOCAL OPERATIONAL SYSTEMS MONITORING**

O. Brovarets

Summary

Modern agriculture involves the implementation of a particular technological operation, according to the appropriate map-task, which is developed pre-based on diverse information. Knowledge of a certain structure of soil cover variability, obtained using information and technical systems of local operational monitoring of agrobiological state of agricultural lands, allows us to adopt effective operational decisions for efficient management of agrobiological potential of agricultural lands.

Obviously, under such conditions, there is a need for fundamentally new approaches to agricultural production, which is to ensure the proper quality of technological operations. The quality of the implementation of technological operations is an integral indicator of the efficiency of production of agricultural products within the agrobiological field. The necessary quality of implementation of the basic technological processes in plant growing is provided by the integrated information and technical systems of operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands. This opens new prospects for organic farming using such "smart" agricultural

machines.

In connection with this, the task is to obtain reliable data on the agrobiological state of the soil environment by reducing the error in determining the magnitude of the electrical conductive properties of the soil, providing individual stabilization of the working electrodes and the mechanism of lifting / lowering the working electrodes, copying inequalities of the soil environment, reducing the intensity of the destruction of the soil structure, self-cleaning of the working contact of the electrode and ensuring the stability of the electrical contact of the electrode with the soil, by instrument design perfection. The task is achieved by using the information and technical system of operational monitoring of the soil environment of the structure to determine the conductive characteristics of the soil environment.

The purpose of this study is to determine the critical loading at the loss of stability by thin-walled working electrodes made in the form of working electrodes of various shapes (thin-walled solid, three-spit and four-spindle discs with different thickness of the rim). Information and technical system of local-operational monitoring of agrobiological state of soil environment of different configurations with one-side compression.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК [631.56:678.048]:635.62 DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-194-200

**ВПЛИВ ЕКСТРАКТУ ВІВСА ПОСІВНОГО
НА ПСУВАННЯ ГАРБУЗА ПРИ ЗБЕРІГАННІ**

Данченко О. О., д. с.-г. н.,

Здоровцева Л. М., к. б. н.,

Данченко М. М., к. т. н.,

Майборода Д. О., асп.,

Коляденко В. В., інж.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Федорко А. С., асп.,

Гапоненко Т. М., інж.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*

Анотація – у статті з’ясовано вплив поверхневої обробки гарбуза екстрактом вівса посівного на процеси псування гарбуза та вміст у його м’якуші низькомолекулярних антиоксидантів (вітаміну С, β -каротину, фенольних сполук) під час тривалого зберігання. Доведено, що така обробка поверхні гарбуза за його тривалого зберігання сприяє кращому збереженню вмісту вітаміну С і фенольних сполук у м’якуші гарбузів, достовірно гальмує їх мікробіологічне псування. Результатами досліджень підтверджено доцільність застосування екстракту вівса для зберігання гарбузів у запропонованому режимі.

Ключові слова – зберігання гарбуза, екстракт вівса, поверхнева обробка, мікробіологічне псування, вітамін С, β -каротин, фенольні сполуки.

Постановка проблеми. Гарбуз – стародавня культура, батьківщиною якої вважають Центральну Америку, Персію і Малу Азію. Гарбуз був завезений в Європу з Америки, де перуанці вирощують його більше 8000 років. У наш час гарбуз, як цінна культура, користується великим попитом у населення. За вмістом цілющих речовин гарбуз перевершує багато інших овочів [1-4]. У його м’якуші містяться цукри, солі калію, кальцію, магнію, фосфору, кремнієвої кислоти. У гарбузі також у значній кількості міститься залізо, яке необхідно для процесів кровотворення. Легка

засвоюваність робить його незамінним компонентом їжі людини при порушенні функцій печінки і нирок. Вітамінна цінність гарбуза пов'язана, перш за все, з високим вмістом β -каротину, необхідного для росту і розвитку організму, формування скелету, функціонування епітеліальних клітин і слизових оболонок очей, дихальних, травних та сечовивідних шляхів. Вітамін С, що посідає за вмістом у гарбузі друге місце, необхідний для організму людини, оскільки бере участь в окисно-відновних процесах, тканинному диханні, обміні амінокислот, вуглеводів, жирів і холестерину, необхідний для утворення колагену, загоєння поранень [4-8]. Гарбуз – низькоенергетичний продукт, що посилює його харчову цінність, оскільки наявність низькокалорійних, але фізіологічно потрібних продуктів важлива для збалансованого раціону [5-7].

Аналіз останніх досліджень. Доведено, що плоди гарбуза можуть зберігати свої поживні властивості в регульованих умовах (при 6-8°C і 75-80% відносної вологості повітря) від 4 місяців до року [1, 2]. Втім, при тривалому зберіганні гарбуза в ньому поступово зменшується вміст вітамінів та інших біологічно активних речовин, а також спостерігається їх поверхневе псування. В ряді закордонних і вітчизняних досліджень останніх років доведено суттєвий позитивний ефект від застосування екстракту вівса посівного як біогенного засобу покращення споживчої якості і подовження термінів зберігання сільськогосподарської продукції [9-13].

Мета даної роботи полягала в з'ясуванні впливу поверхневої обробки гарбузів екстрактом вівса посівного перед закладкою їх на зберігання на процеси мікробіологічного псування гарбуза та вміст низькомолекулярних антиоксидантів (вітаміну С, β -каротину, фенольних сполук) у його м'якуші.

Для цього гарбуз мускатний у кількості 24 плодів середньою масою ($2,27 \pm 0,21$) кг було розділено на дві групи. Обидві групи гарбузів зберігались при температурі від +8 до +16°C і вологості 80%.

Гарбузи дослідної групи перед закладанням на зберігання попередньо обробляли екстрактом вівса посівного з пляшки з аерозольною насадкою у розрахунку 0,3 г на 1 дм². Подальші дослідження були спрямовані на порівняльний аналіз поверхневого псування гарбузів контрольної і дослідної груп та динаміку вмісту вітаміну С, β -каротину та фенольних сполук у м'якуші гарбуза під час зберігання.

Для виділення біологічно активних сполук збирали надземну частину вівса посівного *Avena sativa* у фазу колосіння і цвітіння та без попередньої обробки (окрім подрібнення ножицями) для подальшої екстракції біофлавоноїдів. Вилучення флавоноїдів з вихідної сировини проводили водою (співвідношення сировини і екстрагенту –

1:10, час екстракції на киплячій водянній бані – 60 хв.).

Визначення вмісту вітаміну С проводили титрометричним методом [14], β -каротину – фотоколориметричним методом за його власним забарвленням [15], фенольних сполук – фотоколориметрично із застосуванням реактиву Фоліна-Деніса [16].

Результатами експерименту встановлено, що вміст вітаміну С у плодах гарбуза контрольної групи впродовж дослідів поступово знижувався і наприкінці дослідів через 8 місяців зберігання цей показник поступився відповідному вихідному на 56,3% (табл. 1). У плодах гарбуза дослідної групи з 3-ого місяця зберігання розпочалось достовірне, порівняно з контрольними зразками гарбузів, гальмування процесів окиснення вітаміну С і через 8 місяців, наприкінці дослідів, вміст вітаміну С у м'якуші гарбуза дослідної групи на 23,5 % перевищив відповідний показник контрольної. Більш стійкий рівень вітаміну С в дослідній групі гарбузів підтверджується майже вдвічі нижчим коефіцієнтом варіації цього показника саме для дослідної групи (табл. 2).

Таблиця 1 – Вміст вітаміну С, β -каротину і фенольних сполук в гарбузі

Термін зберігання, місяців	Група гарбузів	Біохімічні показники			Поверхнє псування гарбуза, %
		Вітамін С, мг	β -каротин, мг	Фенольні сполуки, мг	
0	Контроль	4,52±0,19	11,26±0,53	10,76±0,41	0,0
	Дослід	4,47±0,21	11,28±0,59	10,73±0,63	0,0
2	Контроль	4,18±0,14	12,93±0,71	10,13±0,42	2,46±0,11
	Дослід	4,22±0,17	13,29±1,07	11,35±0,57*	2,68±0,10
4	Контроль	3,87±0,25	15,74±0,21	9,38±0,27	5,68±0,27
	Дослід	4,05±0,23	16,03±0,17	9,96±0,34	5,91±0,31
6	Контроль	2,98±0,15	15,79±0,40	8,83±0,24	12,35±0,58
	Дослід	3,62±0,21*	14,98±0,19	9,74±0,17*	9,86±0,49**
8	Контроль	2,41±0,18	12,74±0,37	9,68±0,32	31,24±1,27
	Дослід	3,23±0,15*	12,95±0,43	10,77±0,29*	23,07±0,98**

Примітка: різниця вірогідна відносно контрольної групи:

* – $p \leq 0,05$;

** – $p \leq 0,01$

Таблиця 2 – Статистичні показники змін вмісту досліджених низькомолекулярних антиоксидантів і поверхневого псування гарбузів за весь період спостережень

Показники якості	Статистичні показники					
	Група	Середнє	Станд. відхилення	Мінімум	Максимум	Коефіцієнт варіації, %
Вітамін С	Контроль	3,592	0,391	2,41	4,52	24,3
	Дослід	3,918	0,221	3,23	4,47	12,6
β -каротин	Контроль	13,692	0,894	11,26	15,79	14,6
	Дослід	13,706	0,826	11,28	16,03	13,5

Продовження табл. 2

Показники якості	Статистичні показники					
	Група	Середнє	Станд. відхилення	Мінімум	Максимум	Коефіцієнт варіації, %
Фенольні сполуки	Контроль	9,756	0,328	8,83	10,76	7,5
	Дослід	10,510	0,293	9,74	11,35	6,2
Поверхнєве псування	Контроль	10,346	5,620	0,00	31,24	121,4
	Дослід	8,304	4,042	0,00	23,07	108,8

Кількість β -каротину в гарбузах контрольної групи впродовж перших чотирьох місяців зберігання поступово зростала і за цей проміжок часу збільшилась на 39,8%. За даними [17, 18] каротиноїди під час зберігання гарбуза можуть збільшуватися майже в два рази. Ймовірна причина цього явища – перебудова структури каротиноїдів з утворенням безкисневих форм шляхом ізомеризації β -каротину, переміщення подвійних зв'язків, а також цис-транс перетворення аліфатичного ланцюга молекули. Втім, друга половина досліджує характеризувалась спочатку стабілізацією цього показника (6 місяців зберігання), а наприкінці досліджує – зниженням вмісту β -каротину на 19,3% порівняно з попереднім значенням. Наприкінці досліджує статистично значущих відмінностей вмісту β -каротину в гарбузах контрольної і дослідної груп не встановлено.

Вміст фенольних сполук у гарбузі впродовж досліджує поступово спадав, що, можливо, пояснюється високою здатністю цих сполук до окиснення. Втім, наприкінці досліджує було відмічено тенденцію до стабілізації цього показника.

Під впливом екстракту вівса в гарбузах дослідної групи впродовж перших двох місяців відбулось достовірне збільшення вмісту фенольних сполук, що є зрозумілим, адже сам екстракт містить достатньо широкий перелік біофлавоноїдів та інших природних сполук фенольної природи [13]. Втім, подальші зміни вмісту фенольних сполук в гарбузах контрольної і дослідної груп мали односпрямований характер, що підтверджується достатньо високим коефіцієнтом парної кореляції цього показника в досліджених групах.

Результати аналізу поверхневого стану гарбузів, який здійснювався одночасно з біохімічними дослідженнями, свідчить про експоненціальну залежність мікробіологічного псування поверхні гарбузів від часу їхнього зберігання. Наприкінці досліджує цей процес активізувався і після 8 місяців зберігання мікробіологічне псування спостерігалось майже на третині поверхні гарбузів контрольної групи, а для гарбузів дослідної групи поверхнєве псування було на 26,2% меншим.

Висновки. Попередня обробка гарбуза екстрактом вівса посівного перед закладанням на зберігання сприяє збереженню вмісту

вітаміну С у м'якуші гарбуза на 23,5% порівняно з контролем. При цьому достовірного впливу на динаміку вмісту β -каротину така обробка не встановлено. Під впливом екстракту вівса в гарбузах впродовж перших двох місяців відбулось достовірне збільшення вмісту фенольних сполук (на 10,7%). Подальші зміни цього показника контрольної і дослідної груп відбуваються односпрямовано зі збереженням статистично значущої ($p \leq 0,05$) різниці між ними. Попередня обробка екстрактом гарбузів достовірно гальмує мікробіологічне псування їхньої поверхні. Таким чином, застосування екстракту вівса при зберіганні гарбузів у запропонованому режимі сприяє збереженню харчової цінності цих найкорисніших плодів осені.

Література:

1. Гранкина Н. А., Борисенко В. В., Николаенко С. Н. Изменение химического состава плодов тыквы в процессе хранения // Молодой ученый. 2015. № 22. С. 103-106.
2. Николаенко С. Н., Гамзина Т. Ю., Пахомова Е. Ю. Пигментный комплекс плодов // Научные труды SWORLD. 2009. Т. 27, № 1. С. 7-10.
3. Хусид С. Б., Николаенко С. Н., Донсков Я. П. Изменение химического состава плодов тыквы в процессе // Молодой ученый. 2015. № 22. С. 103-106.
4. Nelson D. L., Cox M.M. Lehninger Principles of biochemistry. Fourth edition. New York: W. H. Freedman and Company, 2005. 1119 p.
5. Chilling-related cell damage of apple (*Malus x domestica* Borkh.) fruit cortical tissue impacts antioxidant, lipid and phenolic metabolism / R.S. Leisso et al. // *Physiol Plant*. 2015. Vol. 153. P. 204-220.
6. Foyer C. H., Shigeoka S. Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis // *Plant Physiol*. 2011. Vol. 155. P. 93-100.
7. Загоскина Н. В., Назаренко Л. В. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений // Вестник МГПУ. Сер. Естественные науки. 2016. № 2. С. 9-23.
8. Губський Ю. І. Біологічна хімія: підручник. Вінниця: Нова книга, 2007. 656 с.
9. Тернинко І. І., Бурцева О. В. Овес посівний (*Avena sativa* L.): фармакогностична характеристика та аспекти застосування // Український журнал клінічної та лабораторної медицини. 2008. С. 18-24.
10. Meydani M. Potential health benefits of avenanthramides of oats // *Nutr. Rev.* 2009. Vol. 67, № 12. P. 731-735. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2009.00256.x.

11. Nie L., Wise M.L., Peterson D.M., Meydani M. Avenanthramide, a polyphenol from oats, inhibits vascular smooth muscle cell proliferation and enhances nitric oxide production // *Atherosclerosis*. 2006. Vol. 186. P. 260-266. DOI:10.1016/j.atherosclerosis.2005.07.027
12. Бурцева О. В., Тернинко І. І. Вивчення вітамінного складу сировини *Avena sativa* L. // *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*. 2011. № 3. С. 37-42.
13. Бурцева О. В. Кількісне визначення фенольних сполук *Avena sativa* // *Український журнал клінічної та лабораторної медицини*. 2013. Т. 8, № 4. С. 225-228.
14. ДСТУ ISO 6557-2:2014. Фрукти, овочі та продукти перероблення. Визначення вмісту аскорбінової кислоти. Частина 2. Практичні методи (ISO 6557-2-1984, IDT). [Чинний від 2015–06–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 10 с.
15. ДСТУ 4305:2004. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення каротину. [Чинний від 2005–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
16. ДСТУ 4373:2005. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Метод визначення вмісту поліфенолів. [Чинний від 2006–04–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 10 с.
17. Николаенко С. Н., Чистоусова М. С., Пахомова Е. Ю. Некоторые общие принципы идентификации каротиноидов тыквы // *Научные труды SWORLD*. 2008. Т. 4, № 2. С. 39-40.
18. Николаенко С. Н., Волкова С. А., Николаенко В. И. Каротиноидный состав плодов тыквы // *Молодой ученый*. 2015. № 1 (81). С. 166-168.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ОВСА ПОСЕВНОГО НА ПОРЧУ ТЫКВЫ ПРИ ХРАНЕНИИ

Данченко Е. А., Здоровцева Л. Н., Данченко Н. Н., Майборода Д. А.,
Коляденко В. В., Федорко А. С., Гапоненко Т. Н.

Аннотация – в статье приведены данные о влиянии обработки тыквы экстрактом овса посевного на процессы порчи тыквы и содержание в её мякоти низкомолекулярных антиоксидантов (витамина С, β-каротина, фенольных соединений) при длительном хранении. Доказано, что такая обработка поверхности тыквы способствует лучшему сохранению содержания витамина С и фенольных соединений в мякоти тыкв, достоверно тормозит их микробиологическую порчу. Результатами исследований подтверждена целесообразность применения экстракта овса при хранения тыквы.

THE EFFECT OF OAT EXTRACT ON DETERIORATION OF THE PUMPKIN DURING STORAGE

O. Danchenko, L. Zdorovtseva, M. Danchenko, D. Mayboroda,
V. Koliadenko, A. Fedorko, T. Gaponenko

Summary

By the content of healing substances pumpkin exceeds many other vegetables. However, with prolonged storage of pumpkin, it gradually decreases the content of vitamins and other biologically active substances, and also their surface deterioration is observed. Pumpkin fruits can retain their nutritional properties under controlled conditions (at 6-8°C and 75-80% relative humidity) from 4 months to a year. However, the long-term storage of pumpkin in it gradually decreases the content of vitamins and other biologically active substances, as well as their surface deterioration. The purpose of this work was to find out the effect of surface treatment of pumpkins with the oat extract on microbial degradation of the pumpkin and the content low molecular weight antioxidants (vitamin C, β -carotene, phenolic compounds) during prolonged storage. Pumpkins of the experimental group before being put into storage were pre-treated with an oat extract. Extraction of flavonoids from oats was carried out with water in the ratio of 1:10 in boiling water bath (60 min).

The results of the experiment proved that preliminary processing of pumpkin with oat extract before storage helps to increase the content of vitamin C in pumpkin by 23.5%. Such treatment does not show a likely effect on the dynamics of β -carotene content. During the first two months there was a significant increase in the content of phenolic compounds (by 10.7%, $p \leq 0,05$) when using oat extract in pumpkins. Subsequent changes in the content of phenolic compounds in pumpkins of the control and experimental series occur unidirectionally with the preservation of the indicated probable difference. Pre-treatment with extract of pumpkin significantly inhibits the microbiological of its damage. Consequently, the use of oats extract for preserving pumpkins in the proposed regime improves the nutritional value of this raw material.

КУЛІНАРНІ ВИРОБИ З ВИКОРИСТАННЯМ РИБОРОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Федорова Д. В., д. т. н.

Київський національний торговельно-економічний університет

Тел. (050) 600-14-94

Анотація – експериментальними методами встановлено вплив рецептурних компонентів на фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості модельних систем з рибної січеної маси з використанням сухих риборослинних напівфабрикатів. Одержано комплекс нових даних щодо впливу сухих риборослинних напівфабрикатів на фізико-хімічні, функціонально-технологічні властивості та харчову цінність кулінарних виробів з рибної січеної маси. Обґрунтовано технології кулінарних виробів з рибної січеної маси підвищеної харчової цінності з використанням риборослинних напівфабрикатів.

Ключові слова – риборослинні напівфабрикати, кулінарні вироби з рибної січеної маси, реологічні, вологоутримувальні, фізико-хімічні властивості рибної січеної маси.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку людства однією з головних глобальних проблем є продовольча – кількість голодуючих у світі, за даними ФАО, становить приблизно 1 млрд. людей. На її вирішення спрямовують свої зусилля всі країни світу, в тому числі Україна, відповідно до основоположних засад дотримання прав людини на стабільне та гарантоване забезпечення продовольством, що викладені в Законі України «Про продовольчу безпеку».

Суттєвий внесок у гармонізацію і доступність харчування населення України має здійснювати рибне господарство. Однак, за даними служби статистики, річне споживання риби та рибної продукції на душу населення нашої країни складає 10,7 кг на особу, що вдвічі нижче раціональної норми споживання – 20 кг. Це має негативні наслідки для здоров'я нації.

Враховуючи глобальні тенденції скорочення обсягу виловів традиційних видів морських гідробіонтів у світі, важливим резервом рибної промисловості та об'єктом забезпечення продовольчої безпеки України є вітчизняний видобуток риби в Азово-Чорноморському басейні, частка якого зростає протягом останніх 5 років. Ресурси

цінної білоквмісної сировини у вигляді дрібної риби в Україні становлять до 50% від загального видобутку риби (40 тис. т. щороку), з яких 74% – дрібні азово-чорноморські риби. Серед них за останні 5 років лідирують бичкові риби родини *Gobiidae* – до 82% видобутку риби, при цьому вартість його залишається найнижчою на ринку риби [1]. Раціональне маловідходне використання даного ресурсу визначає його стратегічний потенціал для забезпечення продовольчої безпеки, стимулювання розвитку та підвищення конкурентоспроможності рибного господарства України, забезпечення імпортозаміщення і розвиток нових ресурсозберігаючих технологій харчової продукції відповідно до основних завдань державної політики у галузі рибного господарства, визначених у Законі України «Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів», Концепції реформування рибного господарства.

Розвиток ресурсозберігаючих технологій маловідходної переробки дрібної рибної сировини в одному технологічному потоці з рослинною клітковиною з отриманням сухих риборослинних напівфабрикатів для використання в широкому спектрі харчової продукції з прогнозованими показниками якості та поліпшеними споживними властивостями, що дозволить мінімізувати втрати та підвищити ресурсоенергоєфективність виробництва рибної продукції, більш повно використати харчовий потенціал вітчизняної дрібної рибної сировини, інтенсифікувати технологічний процес та розширити асортимент доступної білоквмісної харчової продукції з покращеним нутрієнтним складом, є важливим та актуальним завданням для харчової галузі і ресторанного господарства.

Аналіз останніх досліджень. Значний внесок у вирішення фундаментальних питань маловідходної переробки рибної сировини для харчової продукції внесли дослідження таких вчених, як Абрамова Л. С., Бойцова Т. М., Богданов В. Д., Добробабіна Л. Б., Лебська Т. К., Перцевий Ф. В., Пивоваров П. П., Сафронова Т. М., Сидоренко О. В., Слуцька Т. М., Цибізова М. Є., Шендерюк В. І., А. S. Mujumdar, A. Hashimoto, C. Lee, D. Nonako, N. Seki, A. Yamamoto, J. M. Harrington та ін. Результати їх досліджень поширені, передусім, на промислові види основних морських та океанічних риб, а існуючі дані щодо оцінки можливостей раціонального використання дрібних риб Азово-Чорноморського басейну, зокрема бичкових риб змішаного улову, мають фрагментарний характер і потребують наукового обґрунтування. При цьому залишається не вирішеною проблема розроблення раціональних технологій перероблення дрібних видів риб, для яких традиційні способи оброблення є неприйнятними, використання продуктів їх комплексного перероблення у технологіях кулінарної продукції.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою роботи є дослідження реологічних, вологоутримувальних і фізико-хімічних властивостей січеної маси з використанням сухих риборослинних напівфабрикатів на основі дрібної риби родини Gobiidae та обґрунтування технології кулінарних виробів з риборослинними напівфабрикатами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– за результатами досліджень впливу сухих риборослинних напівфабрикатів на вологоутримувальні і реологічні властивості рибної січеної маси обґрунтувати технологію використання сухих риборослинних напівфабрикатів у складі рибних січених виробів;

– дослідити нутрієнтний склад кулінарних виробів з риборослинними напівфабрикатами.

Основна частина. В якості об'єктів дослідження використовували сухі риборослинні напівфабрикати (СРРН) – порошки, виготовлені на основі висушеного і диспергованого риборослинного фаршу з дрібної бланшованої риби родини Gobiidae та висівок пшеничних згідно з розроблених нами ТУ У 10.2-40220843-003:2016; модельні харчові системи і готова продукція з використанням сухих риборослинних напівфабрикатів – НРВ, НРВГЛ (надалі – СРРН) – фаршеві суміші і готові вироби з січеної рибної маси. Контрольними зразками обрано: котлети, биточки рибні № 541 як контрольний зразок [2].

Ступінь penetрації фаршів, паштетних і тістових мас, рибних січених виробів проводили за допомогою напівавтоматичному пенетрометрі «Labor». Для визначення ступеня penetрації використовували конусний індентор. За одиницю penetрації приймали 0,1 мм занурення індентора у зразок, що досліджується. Показник граничного напруження зсуву (ГНЗ) визначали розрахунковим методом за формулою:

$$Q_0 = \frac{k \times m}{h^2}, \quad (1)$$

де Q_0 – граничне напруження зсуву, Па;

k – константа конусу, що залежить від кута α при вершині ($\alpha = 60^\circ$, $k = 2,1$);

m – маса конуса, кг;

h – глибина занурення індентора, м.

Структурно-механічні властивості рибних січених і паштетних мас, тіста пісочного досліджували на еластопластометрі Толстого в режимі постійного напруження зсуву [3]. Метод базується на визначенні деформації, як зміщення, віднесеного до товщини зразка.

Звичною мірою процесу є не деформація, а піддатливість, тобто деформація віднесена до дійсно діючої напруги. Піддатливість в умовах лінійної поведінки є константою і не залежить від напруги [3].

Піддатливість фаршів обчислювали по формулі:

$$J = \frac{k \cdot n \cdot F}{\sigma \cdot P}, \text{ Па}, \quad (2)$$

де k – ціна розподілу шкали мікроскопа, м;

n – число розподілів шкали мікроскопа, м;

σ – товщина зразка, м;

F – площа пластини, м²;

P – навантаження, Н.

Вологоутримувальні властивості фаршів визначали ваговим методом.

Загальний вміст води в пробі визначали за допомогою висушування при температурі 105°C до постійної маси.

За результатами ряду проведених досліджень науково обґрунтовано та розроблено технології кулінарних виробів з рибної січеної маси з використанням СРРН.

За результатами проведених досліджень встановлено доцільність здійснення попередньої гідратації сухих рибо-рослинних напівфабрикатів у воді або молоці у наступному співвідношенні: при використанні НРВ – з гідромодулем 1:2,5, при використанні НРВГ та НРВГЛ – з гідромодулем від 1:2,5 до 1:3,0, що забезпечує кращі технологічні властивості модельних фаршевих систем.

Доведено, що використання гідратованих рибо-рослинних напівфабрикатів з гідромодулем від 1:2 до 1:3 призводить до підвищення показника ВЗЗ та ВУЗ рибних січених систем відповідно на 3,1...9,0 та 3,6...12,7% (рис. 1, 2). При цьому, відмічено позитивний вплив на вологоутримуючі властивості використання молока для гідратації СРРН, що підвищує їх вологотримуючі властивості в середньому на 0,4...0,6%. Збільшення ВУЗ рибних фаршів та паштетних мас пов'язано з низкою факторів: взаємодією білків з полісахаридами рослинної сировини та іонами кальцію, зв'язуванням води в капілярах СРРН за рахунок сил поверхневого натягу та адсорбції води на їх поверхні, що не суперечить літературним даним.

Встановлено, що додавання 5...9% СРРН до складу натуральних рибних фаршів, котлетних і паштетних мас дозволяє підвищити рівень вологоутримуючої здатності порівняно з контрольними зразками, що є причиною збільшення виходу виробів та покращення органолептичних характеристик готової (соковитості, ніжності) (рис. 3). Встановлено, що додавання 5...9% НРВГ та НРВГЛ до складу рибних січених і паштетних мас дозволяє зменшити ГНЗ

систем на $(1,2...2,8) \cdot 10^3$ Па, а для зразків фаршу з котлетної маси – відповідно на $(1,04...13,2) \cdot 10^3$ Па, що становить в середньому 2,4...13,2% (рис. 4). Вірогідно, це пов'язано зі збільшенням ефекту вологоутримання та розрихленням структури фаршу, що робить фарш більш піддатливим механічним деформаціям.

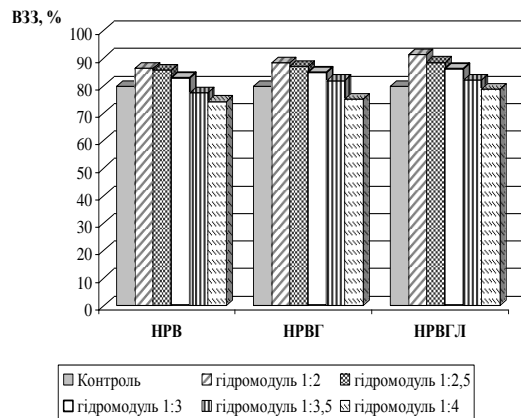


Рис. 1. Вологозв'язуючі властивості фаршу з рибної січеної маси при різних гідромодулях обводнення СРРН у воді

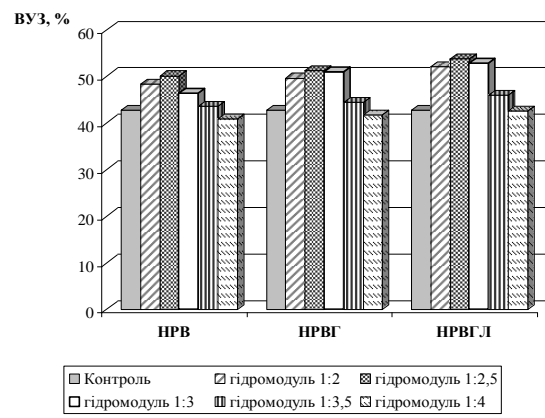


Рис. 2. Вологоутримуючі властивості фаршу з рибної січеної маси при різних гідромодулях обводнення СРРН у воді

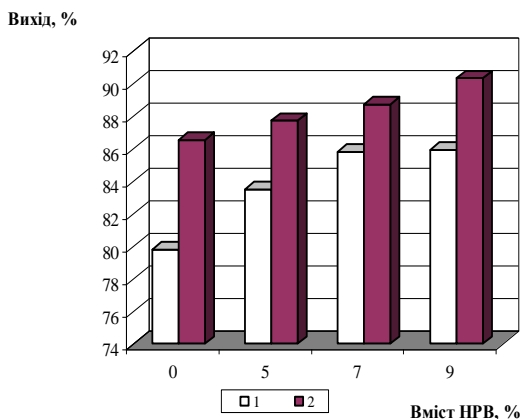


Рис. 3. Вихід виробів з рибної січеної маси: 1 – натуральний фарш після термообробки; 2 – котлетна маса після термообробки

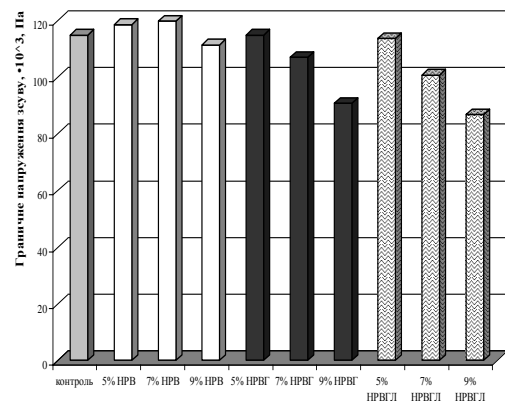


Рис. 4. Граничне напруження зсуву рибних січених виробів з натурального фаршу до термооброблення

Проте, при використанні 5...7% НРВ у складі фаршів рибних, показник ГНЗ дещо зростає – на 3,2...2,1%, що, ймовірно, є наслідком збільшення в'язкості системи. Після теплової обробки ступінь penetрації і граничне напруження зсуву (ГНЗ) усіх дослідних зразків готових виробів перевищує значення контролю і зростає зі збільшенням концентрації добавки. Для готових виробів відмічено підвищення ГНЗ в середньому на 1,04...5,4% для виробів з фаршу рибного натурального та на 1,1...4,3% – для виробів з котлетної маси. Результати досліджень реологічні властивості рибних фаршів з СРРН

зображені на рис. 5. Встановлено, що використання 5...9% НРВ та 7...9% НРВГЛ призводить до покращення технологічних властивостей рибних фаршів, збільшення їх здатності до деформації при прикладанні навантаження. При цьому, збільшення податливості фаршів складає відповідно 3,5...7,1 та 14,2...17,7% відповідно для фаршів з 5...9% НРВ та 7...9% НРВГЛ. Відмічено збільшення відносної пружності у фаршах з 5...7% НРВ на 2,04...4,06% та відносної еластичності у фаршах з 5...7% НРВ та з 7...9% НРВГЛ – відповідно на 2,6...3,37% та 2,64...3,85%.

Це призводить до збільшення значення відношення зворотної деформації до загальної і свідчить про збільшення здатності фаршів повертатися до початкового стану після припинення дії напруження та збільшенням здатності фаршів до значної післядії за умов постійного напруження. Найбільші значення відносної еластичності зафіксовані для зразків фаршів рибних з НРВГЛ, що сприятиме покращенню формованості кулінарних виробів з його вмістом.

Для всіх дослідних зразків з СРРН є характерним збільшення пластичної в'язкості, що свідчить про збільшення внутрішнього тертя у фарші. Зменшення пластичності у фаршах при додаванні 5...9% НРВ на 5,41...6,66%, а у зразках з 7...9% НРВГЛ – на 3,38...4,95% свідчить про зменшення здатності фаршів незворотно і без руйнування змінювати свою форму під дією великих напружень. Така зміна реологічних характеристик рибних фаршів при використанні СРРН пов'язана, перш за все, з їх високими вологоутримуючими властивостями та взаємодією білків риби з білковими та вуглеводними складовими добавок. Покращення структури рибного фаршу можна пояснити наявністю у його складі гідроколоїдів – глютину, харчових волокон рослинної сировини, які беруть участь у структуроутворенні з утриманням значної кількості води, а також жирів та речовин із емульгуювальними властивостями.

Таким чином, використання СРРН у виробництві рибних фаршів не тільки сприяє підвищенню їх здатності до утримання вологи у фаршевій системі, але і певним чином підвищує їх міцність після термічного оброблення, що є позитивною технологічною особливістю виробництва рибних січених виробів, зокрема з обводненої рибної сировини, оскільки сприяє забезпеченню кращому зберіганню форми під час теплового оброблення та реалізації.

Зміна реологічних показників рибних фаршів значно впливає на органолептичні показники якості виробів – консистенція стає більш ніжною, еластичною та пружною. При цьому встановлено, що підвищення масової частки СРРН у фаршевих системах більше 7% призводить до значного ущільнення структури готових виробів та погіршує їх органолептичні характеристики. Отже, раціональним

діапазоном вмісту СРРН у складі виробів з січеної рибної маси є 7...9% від маси рибної сировини.

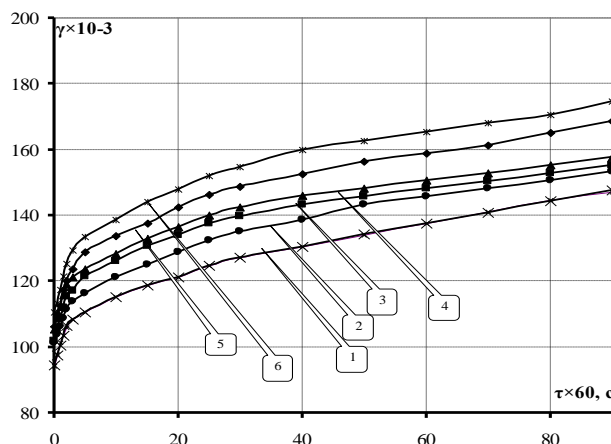


Рис. 5. Криві повзучості рибних фаршів з СРРН: 1 – контроль; 2-5% НРВ; 3-7% НРВ; 4-9% НРВ, 4-9% НРВ, 5-7% НРВГЛ, 6-9% НРВГЛ

Попередні дослідження показали ефективність використання МН у складі фаршів з рибної січеної маси у кількості 10...20% від маси фаршу. Досліджували вплив МН на вологоутримуючу здатність фаршів рибних з НРВГ та НРВГЛ (табл. 1).

Таблиця 1 – Вологоутримувальна здатність (ВУЗ) фаршів рибних з СРРН та морквяним наповнювачем (20%) ($t=20\pm 2^\circ\text{C}$), $n=3$, $P\leq 0,05$

Найменування СРРН	ВУЗ фаршу (контроль), %	ВУЗ фаршів з СРРН, %		
		5% СРРН	7% СРРН	9% СРРН
Фарш рибний натуральний до термообробки				
НРВГ	42,7±1,5	46,7±1,5	49,0±1,5	51,7±1,5
НРВГЛ	42,7±1,5	47,5±1,5	50,1±1,5	52,6±1,5
Фарш рибний натуральний після термообробки				
НРВГ	52,0±1,5	57,4±2,0	61,7±2,0	63,7±2,0
НРВГЛ	52,0±1,5	59,0±2,0	62,9±2,0	64,1±2,0

Експериментально встановлено ефект додаткового підвищення вологоутримуючої здатності фаршів рибних при комплексному використанні СРРН та овочевого компоненту, що свідчить про наявність синергетичного ефекту. Додатковий ефект підвищення вологоутримуючої здатності рибних фаршів становив 4,8...11,7%, а у готових виробках – 3,6...3,8%. Рядом авторів доведено, що з підвищенням ВУЗ прямопропорційно зростає ніжність кулінарних січених виробів, що корелює з отриманими нами даними [4, 5].

Встановлено наявність синергетичного ефекту щодо

структурування у рибному фарші при комплексному використанні пектинвмісного морквяного наповнювача та сухих риборослинних напівфабрикатів, які, ймовірно, утворюють кальцій-пектатні зв'язки у дослідних системах. Це забезпечує кращу формованість напівфабрикатів і збереженість форми при їх тепловій обробці, зростає «ніжність» готових виробів на 2,5...3,8%, а ступінь penetрації збільшується на 18% порівняно з виробами з натурального фаршу, що в органолептичній оцінці характеризується підвищенням соковитості виробів. Видно, що додавання СРРН до складу, як котлетних, так і натуральних січених виробів позитивно впливає на вихід готової продукції. При використанні 7,2..8,2% СРРН вихід готової продукції збільшується на 3,2...4,6% та 3,2...5,6% відповідно для котлетних та натуральних січених виробів вихід натуральних виробів з СРРН збільшується в середньому на 7,1%, при використанні морквяного наповнювача – на 6,4...7,4%.

На основі результатів досліджень був зроблений висновок про доцільність використання НРВГ у складі рибних січених виробів у кількості 7,5...9,0%, що дозволяє забезпечити найкращі вологоутримувальні властивості систем (рис. 6).

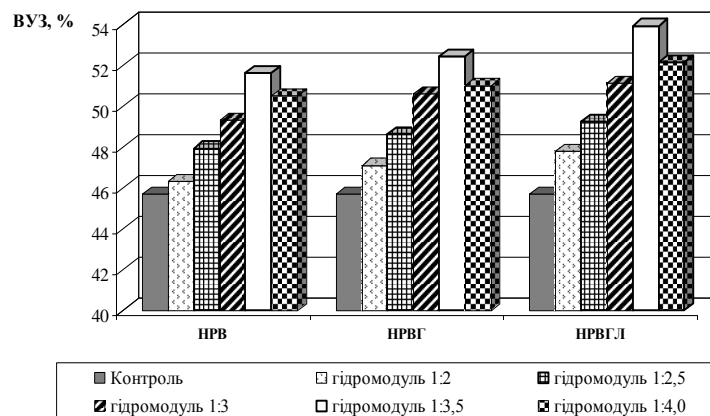


Рис. 6. Вологоутримуюча здатність рибної січеної маси при різних гідромодулях обводнення СРРН

За результатами проведених досліджень розроблені рецептури та технологію рибних січених виробів з використанням СРРН (котлети, биточки, шніцелі рибні). Додавання СРРН не змінює традиційний перебіг технологічного процесу їх виробництва.

Реалізація даних технологій дозволяє отримати готову продукцію з покращеним нутрієнтним складом, що наведений у табл. 2.

Розроблена кулінарна продукція з СРРН має високу харчову цінність: високий вміст білка 13...18%, підвищується вміст мінеральних речовин, зокрема кальцію та фосфору – відповідно у 8,6...9,7 та 2,5...2,6 рази порівняно з контролем, а їх співвідношення відповідає збалансованому значенню 1:1. Помітна різниця в бік

збільшення вмісту кальцію та фосфору в усіх дослідних зразках з СРРН порівняно з контролем у 7,8...9,3 рази. Вміст кальцію в дослідних зразках зростає з 31,3 мг/100 г у контролі до 243,3...289,2 мг/100 г, а вміст фосфору – з 101,3 до 249,9...268,2% (табл. 3).

Таблиця 2 – Хімічний склад та енергетична цінність рибних січених виробів з СРРН, г/100 г, n=5, P≤0,05

Зразок	Масова частка, % від загального хімічного складу						Енергетична цінність, ккал
	сирий протеїн	сирий жир	вуглеводи, в т.ч.	сира клітковина	зола	волога	
Контроль	14,49 ± 0,48	3,74 ± 0,01	8,63 ± 0,33	0,33 ± 0,005	1,31 ± 0,05	71,70 ± 2,67	125,5
Котлети рибні «Дунайські»	15,3 ± 0,42	3,52 ± 0,72	9,26 ± 0,25	1,2 ± 0,02	2,72 ± 0,04	69,2 ± 2,04	133,4
Биточки рибо-моркв'яні «Азовські»	15,8 ± 0,19	3,92 ± 0,84	6,5 ± 0,3	1,5 ± 0,02	2,66 ± 0,12	72,1 ± 1,81	118,6

Таблиця 3 – Мінеральний склад та показники мінеральної збалансованості рибних січених виробів з СРРН, мг/100 г, n=5, P≤0,05

Хімічна назва елементу	Вміст, мг/100 г			Добова потреба, г
	Контроль	Котлети рибні «Дунайські»	Биточки рибо-моркв'яні «Азовські»	
Кальцій	31,23±0,42	268,9±3,4	243,3±3,4	1100-1200
Калій	161,12±3,87	188,4±3,5	205,2±4,1	2500*
Фосфор	101,3±2,1	249,9±4,6	260,31±4,55	1200
Магній	30,5±0,51	40,52±0,69	41,52±0,86	350-400
Ферум	0,54±0,002	0,75±0,002	0,78±0,002	15 -17
Цинк	–	0,09	0,08	12-15
Співвідношення Са : Р	1 : 4,2	1 : 0,9	1 : 1,1	1 : 1
Співвідношення Са : Mg	1 : 1,3	1 : 1,3	1 : 0,2	1 : 0,5

Розроблені рецептури та технологія рибних січених виробів з використанням СРРН. Проведено виробничі апробації нової продукції, підтверджено її високу якість і споживчі властивості [6]. Визначено, що ступінь задоволення розробленими стравами, кулінарними виробами формулі збалансованого харчування знаходиться в межах 5,45...26,87% – по білках, 1,89...29,50% – по жирах, 1,67... 72,23% – по вуглеводах, зокрема 19,4...28,1% – по кальцію.

Висновки. За результатами проведених досліджень науково обґрунтовано ефективність використання сухих рибо-рослинних напівфабрикатів у складі емульсійних систем на основі сирової рибної сировини у кількості 7,0...8,5% для покращення споживчих характеристик готової продукції на їх основі (покращення вологозв'язуючих, вологоутримуючих, емульгуючих властивостей,

забезпечення стабільності, збільшення виходу після термооброблення кулінарних виробів на фоні покращення нутрієнтного складу, підвищення харчової та біологічної цінності, забезпечення високих органолептичних властивостей).

За результатами проведених досліджень розроблені рецептури та технологія рибних січених виробів з використанням СРРН. Реалізація даних технологій дозволяє отримати готову продукцію з покращеним нутрієнтним складом. Достатньо високий вміст білків, невисокий – ліпідів, наявність клітковини та підвищений вміст мінеральних елементів, невисока енергетична цінність характеризує розроблені продукти як білоквмісні низькожирні, які можуть бути рекомендовані до включення у раціони харчуванні осіб із ожирінням, метаболічним синдромом, іншими розладами вуглеводно-ліпідного обміну.

Література:

1. Добування водних біоресурсів за 2018 рік. Статистичний бюлетень. Київ, 2018. URL: http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm (дата звернення: 28.07.2019).
2. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Москва: Экономика, 1982. 720 с.
3. Шаповал С. Л., Романенко Р. П., Форостяна Н. П. Диагностика фізичних властивостей харчових продуктів: монографія. Київ, 2017. 192 с.
4. Федорова Д. В. Фізико-хімічні і біохімічні показники якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів // Технічні науки та технології. 2016. № 3 (5). С. 217-233.
5. Притульська Н. В., Федорова Д. В. Ресурсозберігаюча технологія сухих рибо-рослинних фаршів // Вісн. Львів. торг.-екон. ун-ту. Сер. Технічні науки. 2017. Вип. 18. С. 65-71.
6. Федорова Д. В. Дослідження технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та їх використання в харчових технологіях // Технічні науки та технології. 2017. № 4 (10). С. 217-227.

КУЛИНАРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЫБОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Федорова Д. В.

Аннотація – експериментальними методами встановлено вплив рецептурних компонентів на фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості модельних систем з рибної рубленої маси з використанням сухих риборастибельних напівфабрикатів. Отримано комплекс нових

данных о влиянии сухих рыбопродуктивных полуфабрикатов на физико-химические, функционально-технологические свойства и пищевую ценность кулинарных изделий из рыбной рубленой массы. Обоснована технология кулинарных изделий из рыбной рубленой массы повышенной пищевой ценности с использованием рыбопродуктивных полуфабрикатов.

CULINARY PRODUCTS USING FISH AND PLANT SEMI-PRODUCTS

D. Fedorova

Summary

The task of rational use of domestic raw small fish is the development of technologies their complex processing on food products such as dry fish and plant semi-products that can be used in culinary products, which will allow to expand the assortment of protein-rich food products with improved nutrient composition, to minimize technological losses. The aim of the study is a research the rheological, moisture-retaining and physicochemical properties of minced fish mass using dry fish and plant semi-finished products (powders) based on the Gobiidae family small fish and scientific substantiation of the technology of culinary products with fish and plant semi-finished products. Experimental methods have established the influence of the recipe components on the physicochemical and functional-technological properties of the model systems of minced fish mass with the use of dry fish and plant minced semi-products, which became the basis for optimization of the composition of the indicated products. The complex of new data on the influence of dry fish and plant minced semi-products on the physicochemical, functional and technological properties and the nutritional value of the culinary products from minced fish mass with the use of dry fish and plant minced semi-products was obtained. New technology of culinary products of the raised nutritional value with the use of developed dry fish and plant minced semi-products are grounded and developed. They are characterized by high consumer properties, improved nutrient composition, and greater output of finished products. Proven consumer benefits of the developed products, which consist in increasing their nutritional value due to the improvement of amino acid, mineral composition, increasing the content of bioavailable calcium, food fibers, ω -3 polyunsaturated fatty acids.

ОБГРУНТУВАННЯ ІНГРЕДІЄНТНОГО СКЛАДУ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОДУКТУ СПЕЦІАЛЬНОГО СПОЖИВАННЯ БАТОНЧИКІВ «VITABAR»

Товма Л. Ф., доктор філ. техн. напр.,
Морозов І. Є., к. в. н.,
Національна академія Національної гвардії України
Євлаш В. В., д. т. н.,
Харківський державний університет харчування та торгівлі
Штриголь С. Ю., д. м. н.,
Національний фармацевтичний університет
тел. (057) 73-23-783

Анотація – розроблено рецептури батончиків «Vitabar», до складу яких входить сировина вітчизняного виробництва та визначено її раціональні частки. Вивчено хімічний склад та показники безпечності рецептурних інгредієнтів, що входять до складу батончиків. Проведено клінічні дослідження (показники крові) на військовослужбовцях, що несуть службу в різних умовах обстановки (у пункті постійної дислокації, в польових умовах, при виконанні службово-бойових і бойових завдань). Доведено позитивний вплив на організм людини білково-вітамінного продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar».

Ключові слова – раціональне харчування, добовий раціон, есенціальні нутрієнти, харчова цінність, білково-вітамінний продукт.

Постановка проблеми. Питання організації науково обґрунтованого харчування військовослужбовців та людей із підвищеними фізичними навантаженнями в спеціалізованій літературі відпрацьовані недостатньо, відсутня цілісна методика удосконалення якості харчування в різних умовах обстановки. Аналіз адекватності хімічного складу добового раціону фізіологічним потребам підтверджує не повну їх відповідність [1-8].

Аналіз літературних джерел [1-4, 6, 7] показав, що проблемі харчування військовослужбовців, науковому обґрунтуванню відповідності його нутрієнтного складу умовам та специфіці військової служби приділяються лише поодинокі публікації. Так, автор [1] пропонує для коригування раціонів харчування білково-

вітамінний продукт, однак його кількісно-якісна характеристика дозволяє нам констатувати, що хімічний склад даного продукту потребує удосконалення за вмістом есенціальних нутрієнтів. Автор [2], оцінюючи стан харчування військовослужбовців, порушує проблему незбалансованості добового раціону за основними поживними речовинами, але не вказує шляхів її вирішення, а лише зупиняється на підвищенні калорійності норми №1 за рахунок введення традиційних продуктів харчування (сало, мед та ін.).

Останні наукові дослідження показали, що у значної частини українців і, особливо учасників бойових дій, спостерігається дефіцит макро- та мікроелементів в організмі, які входять до складу таких важливих органічних сполук, як гемоглобін, гормони, ферменти; виконують роль пластичного матеріалу для побудови зубної та кісткової тканини; в іонному стані беруть участь у передачі нервових імпульсів; забезпечують згортання крові, виконують важливу функцію у багатьох фізіологічних процесах організму. Недостатність або надлишок у харчуванні будь-яких речовин викликає порушення обміну білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, призводить до розвитку цілого ряду різних захворювань [1-7].

Зниження статусу харчування військовослужбовців проявляється в недостатньому споживанні повноцінної за вмістом білка, вітамінів, ненасичених жирних кислот і мінеральних речовин їжі, що негативно впливає на адаптацію до умов військової служби призовників через низькі резерви організму та підвищує ризики захворюваності, значно знижує боєздатність. Тому ми вважаємо актуальною розробку продукту спеціального споживання для коригування раціонів харчування військовослужбовців [3, 4], діяльність яких відноситься до IV групи інтенсивності праці – працівники важкого фізичного навантаження з високою фізичною активністю.

В нашій країні вимоги до раціонів харчування № 1-15 регламентуються постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 року № 426 “Про норми харчування військовослужбовців Збройних Сил, інших військових формувань та осіб рядового, начальницького складу органів і підрозділів цивільного захисту та Державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації” (із змінами) та застосовуються для забезпечення продовольством (набором сухих пайків, готовими до вживання стравами) особового складу військ в стаціонарних та польових умовах [19].

Аналіз раціону харчування військовослужбовців за нормою № 1 показав, що його енергетична цінність, з урахуванням останніх внесених змін Кабінету Міністрів України від 29.04.2015 р., становить

4715 ккал на добу. Згідно рекомендацій спеціальної комісії (Research Task Group-154) НАТО енергетичні витрати в ході звичайних операцій становлять не менше 3600 ккал/добу та 4900 ккал/добу – для бойових операцій.

Узагальнення інформаційних ресурсів [1-4, 6, 7, 10, 11] дозволяє визначити реальний стан фактичного харчування військовослужбовців Збройних Сил України та інших військових формувань. Виявлені протиріччя між нормативним і фактичним раціонами харчування та фізіологічними потребами організму вимагають удосконалення системи продовольчого забезпечення військовослужбовців з метою усунення дефіциту життєво важливих нутрієнтів у раціоні, збалансування їх співвідношення та забезпечення енергетичної повноцінності фактичного харчування.

Дослідження вчених та накопичений досвід показує, що вирішити питання швидкого коригування раціонів харчування шляхом простого збільшення обсягів виробництва і розширення асортименту традиційних харчових продуктів майже неможливо [10-18]. Тому перед нами постало завдання пошуку актуальних напрямів розв'язання цієї надзвичайно важливої проблеми. Відомі технології мультизлакових батончиків, до рецептурного складу яких входять: мед натуральний, патока, зародки пшеничні, пластівці вівсяні та кукурудзяні, рис, арахіс, родзинки, курага, чорнослив, що забезпечують високу енергетичну та біологічну цінність раціону, але не являються постачальником повноцінного білку тваринного походження, мають складний технологічний процес, не вирішують проблему йододефіциту та поступання в організм макро- і мікронутрієнтів. Відомо, що дефіцит йоду в багатьох країнах світу намагалися усунути шляхом йодування води, солі, розробкою цілого ряду йодовмісних препаратів, дієтичних добавок і продуктів харчування: шоколаду, плавлених сирів, хлібобулочних і кондитерських виробів. Водночас установлено, що більш повне засвоєння йоду та його поступове виведення з організму досягається в разі споживання органічних сполук йоду [5], які виключають можливість передозування. Джерело органічно зв'язаного йоду – водорості ламінарія та вакаме. Крім того, вони являються потужним постачальником есенціальних мікроелементів, що робить їх надзвичайно популярними в кухнях деяких європейських країн.

На ринку України немає продукту, який би за своїм інгредієнтним складом дозволив усунути дефіцит життєво важливих нутрієнтів у раціоні, збалансувати та забезпечити енергетичну повноцінність фактичного харчування.

У зв'язку з цим нами була розроблена гіпотеза, яка полягає в тому, що підвищення харчової та біологічної цінності добових

раціонів можливе завдяки використанню нової продукції спеціального споживання, що збалансує фактичний раціон військовослужбовців за нутрієнтним складом. Виходячи з положень гіпотези сформульовано інноваційну стратегію розроблення нової продукції, в основу якої покладено принципи раціонального харчування, а саме: енергетична рівновага, якісна повноцінність харчування, раціональний розподіл енергії і кількості споживаної їжі протягом дня.

Тому, обґрунтування інгредієнтного складу та розробка нових технологій харчових продуктів, адекватних за нутрієнтним складом потребам організму сучасної людини, багаті на біологічно активні речовини, володіють оздоровчими і профілактичними властивостями та здатні повністю усунути дефіцит поживних речовин у раціоні, є актуальною задачею [3, 4, 6, 7].

Аналіз останніх досліджень. У багатьох роботах вітчизняних науковців встановлено, що фактичне харчування військовослужбовців за нутрієнтним складом та енергетичною цінністю не повністю відповідає затвердженому нормативному раціону і не задовольняє фізіологічні потреби [1-4].

В роботах [1-2] встановлено незбалансованість білкової квоти нормативного і фактичного раціонів за рахунок перевантаження рослинними білками та дефіциту повноцінних тваринних білків. Встановлено, що нормативний раціон містить 41 г тваринного та 81 г рослинного білку, а фактичний – в середньому 33,3 г та 76,0 г відповідно, що не задовольняє фізіологічні потреби людей IV групи важкості праці, до якої відноситься діяльність військовослужбовців, оскільки спожитий білок їх добового раціону повинен на 55% складатися з тваринного компонента та на 45% – з рослинного.

Встановлено, що нормативний і фактичний раціони не збалансовані за вмістом жирних кислот. Попередні дослідження показали, що жирова квота як нормативного, так і фактичного раціонів перевищувала рекомендовані фізіологічні потреби в ліпідах (100 г) відповідно на 3,9% та 8,3% [1-4]. Показник вуглеводної частки фактичного раціону виявився меншим на 8,0% вуглеводної квоти нормативного раціону військовослужбовців і не відповідає нормам фізіологічних потреб для працездатного населення IV групи фізичної активності.

Оцінюючи вітамінну забезпеченість фактичного і нормативного раціонів, авторами [1-4] встановлено, що середньорічна квота основних вітамінів у добовому фактичному раціоні в середньому на 16...50%: менша, ніж передбачено нормативним раціоном:

– за вмістом вітаміну А у фактичному ($0,84 \pm 0,03$ мг) і нормативному раціонах (0,9 мг) вони поступаються добовим нормам

фізіологічних потреб (1 мг) відповідно на 16% та 10%;

– вміст вітаміну B₂ у фактичному раціоні склав $1,34 \pm 0,01$ мг, що на 13,5% менше, ніж передбачено у нормативному (1,55 мг). При цьому ні фактичний, ні нормативний раціони не відповідають фізіологічним добовим потребам молодих людей (2,0 мг);

– середньорічна квота вітаміну С у добовому фактичному раціоні склала $43,52 \pm 1,63$ мг, що лише на 52,3% задовольняє добові фізіологічні потреби організму військовослужбовців (не менше 80,0 мг на добу). Крім того, цей показник менший на 15%, ніж передбачено нормативним раціоном (51,23 мг).

Щорічно з 15 березня по 15 червня за загальновійськовою нормою № 1 проводиться додаткова вітамінізація шляхом видачі 1 драже “Тексавіт” на добу [19], що дозволяє забезпечити фізіологічні потреби військовослужбовців у вітамінах. Однак, в інші місяці року дефіцит вітамінів А, B₂, С зберігається.

Авторами [1-4, 6, 7] встановлено, що в середньому фактичний раціон містить 718,31 мг кальцію, який лише на 59,9% задовольняє добові потреби молодих людей в ньому. Виявлено дисбаланс між вмістом кальцію, фосфору і магнію в нормативному (1:2,5:0,8) та фактичному раціоні (1:2,6:0,8), що не відповідає оптимальному їх співвідношенню (1:1(1,5):0,3) й перешкоджає засвоєнню кальцію з їжею.

Встановлено незбалансованість білків, жирів і вуглеводів за масою у фактичному (1:0,9:5,3) та нормативному раціонах (1:0,9:5,2) при нормах фізіологічних потреб для населення України відповідної статі, віку та інтенсивності праці, відповідно – 1:0,9:6. Внесок основних нутрієнтів у загальний енергетичний калораж фактичного і нормативного раціонів склав: білки – 12%, жири – 25%, вуглеводи – 63% при фізіологічних нормах для відповідного віку та фізичного навантаження – Б:Ж:В = 11% : 24% : 65%. В цілому ж енергетична складова фактичного раціону військовослужбовців знаходилася в середньому на рівні 3715 ккал, що менше на 7,4%, ніж передбачено нормативним (4010,2 ккал) і на 5% – добової норми фізіологічних потреб (3900 ккал) [1-4].

Зростає актуальність організації харчування хворих за лікувальною нормою № 5 [6, 19] – поранених, потерпілих від опіків і хворих на променеву хворобу. Реалії сьогодення в нашій країні негативно впливають на стан здоров'я особового складу військ, особливо учасників бойових дій. У цих осіб розвиваються глибокі порушення в обміні речовин, зокрема в білковому, сильно страждає функція шлунково-кишкового тракту. Тому пайок для таких хворих повинен мати більш високу харчову цінність, ніж шпитальний, і включати різноманітніший асортимент продуктів, що особливо

потребує адекватного нутрієнтного складу.

Нами також проведено аналіз норми № 7 – лікувально-профілактичної [19]. Вона містить чотири раціони і призначена для харчування працівників, які зайняті на роботах із особливо шкідливими умовами (коксохімічні заводи, атомні та гідроелектростанції). Хоча за цією нормою і передбачена щоденна додаткова вітамінізація раціонів, але жоден з них не містить функціональних продуктів спрямованої дії, до складу яких входять інгредієнти, що володіють високою біологічною активністю (слані сушених водоростей, сухі молочні продукти, знежирене ядро насіння соняшнику і т. д.). Вживання надмірної кількості вуглеводів та жирів, гострий дефіцит мінеральних речовин (кальцію, фосфору, йоду, заліза, фтору, селену) та вітамінів призводять до неповного задоволення фізіологічних потреб організму [1-5].

Аналізуючи харчовий статус військовослужбовців різних країн, ми прийшли до висновку, що проблема поліпшення структури харчування, якості та безпеки харчових продуктів є сьогодні однією із найважливіших не тільки у нашій країні, а й у світі взагалі. Комплектування армійських пайків у більшості держав здійснюється за національними нормами забезпечення з урахуванням службового навантаження, характеру військової служби, рівня розвитку і оснащеності технікою та озброєнням, що, безумовно, відображається й на організації харчування взагалі. Слід зауважити, що норми забезпечення та раціони в арміях країн світу відносно стабільні, але ведеться постійна робота по їх удосконаленню шляхом введення нових продуктів [11].

У військах США для приготування гарячої їжі використовується пайок А, який має стабільний склад продуктів та внесений в норми забезпечення військовослужбовців, а також використовуються раціони В і Т, що застосовуються в бойових обставинах для військ швидкого реагування. Хімічний склад і енергетична цінність пайку А виглядає наступним чином: білки – 113 г (в т. ч. тваринні – 65 г), жири – 133 г, вуглеводи – 508 г, енергетична цінність – 4085 ккал. Особливу увагу в міністерстві оборони США звертають на дослідження по створенню нових індивідуальних раціонів для забезпечення сил швидкого реагування в період ведення бойових дій у відриві від пунктів постійної дислокації та продовольчих баз. Комплекти раціонів складаються із продуктів, що не потребують термічної обробки і максимально підготовлені до вживання. Також важливо відзначити, що до складу сухих пайків американських військовослужбовців входять енергетичні батончики, які містять калорійні інгредієнти: шоколад, горіхи, карамель, цукор, родзинки, мюслі та ін.[11].

Такий принцип комплектації сухих пайків застосовують більшість армій розвинутих держав, коли до їх складу обов'язково входять енергетичний, шоколадний або вітамінно-мінеральний батончик (Франція, Італія), батончик мюслі (Англія, Австралія), батончики Energy Bars із зернових з родзинками, горіхами, шоколадом (США) [11, 14-18].

Норми харчування (№ 1-9, 11-14), сухий пайок (№ 10) та добовий польовий набір продуктів (№ 15) українських військовослужбовців, затверджені постановою Кабінету Міністрів України № 426 від 29 березня 2002 року, на відміну від армійських пайків розвинених держав світу, не містять жодних батончиків. Мова йде не тільки про підвищення калорійності раціону, а й про його якісний нутрієнтний склад.

Наукові доробки вчених [3, 4] дозволяють констатувати, що введення до раціону споживачів продуктів спеціального споживання не являється істотною видозміною традиційної структури харчування, а є лише доповненням з метою підвищення його статусу. Нові продукти, в основі виробництва яких лежить ефективне використання вторинних сировинних ресурсів, збагачені різноманітними біологічно активними речовинами (БАР), здатні ліквідувати дефіцит будь-яких нутрієнтів і стати джерелом необхідних біорегуляторів усіх функцій органів та систем організму людини [3, 4, 12].

Автором [1] доведено, що фактичне харчування військовослужбовців за нутрієнтним складом та енергетичною цінністю не відповідає затвердженому нормативному раціону і не задовольняє фізіологічні потреби молодих людей при адаптації до військової служби і в період реабілітації хворих у зв'язку з недостатнім вмістом повноцінних тваринних білків і надлишком рослинних, незбалансованим співвідношенням есенціальних амінокислот: триптофану, лізину і метіонину (1:4,5:3,9), жирних кислот, недостатнім вмістом моно- і дисахаридів (17,6%), незбалансованістю кальцію, фосфору і магнію (1:2,6:0,8), дефіцитом вітамінів А (0,84 мг), В₂ (1,34 мг) та С (43,5 мг).

На сучасному етапі ведення бойових дій існуюча система харчування потребує вдосконалення. При виконанні завдань підрозділами спеціального призначення в умовах з інтенсивним забрудненням навколишнього середовища радіоактивними, хімічними та біологічними речовинами стає неможливим обробка продуктів і приготуванні їжі традиційними способами. Як показує досвід інших країн [11], доцільно використовувати раціони харчування промислового виробництва, що максимально підготовлені до вживання.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою

дослідження, яке представлено у даній статті є вивчення хімічного складу та показників безпечності сировини вітчизняного виробництва, обґрунтування рецептури та розробка технології продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar» для коригування раціонів харчування військовослужбовців.

Основна частина. Основні властивості продуктів спеціального споживання полягають у енергетичній адекватності, оптимальній кількості збалансованих харчових речовин, імунокорегуючій, гастро- і гепатопротекторній дії, нормалізуючому впливі на кишкову мікрофлору, нешкідливості для організму [12].

Продукт спеціального споживання має бути багатокomпонентним, у якому співвідношення інгредієнтів утворювали б комплекс біологічно активних речовин природного походження. Тому було запропоновано наступну сировину в якості інгредієнтів рецептури: сироватка суха, дієтична добавка з харчової крові «Нутріо-гем», ядро насіння соняшнику після віджиму олії, родзинки, фініки, мальтодекстрин, морські водорості вакаме та ламінарія [3, 4, 21].

До складу дієтичної добавки «Нутріо-гем» входить повноцінний тваринний білок, вітаміни А, Е, С, В₁, В₂, В₆, В₉, В₁₂, РР.

У пошуку джерела мінеральних речовин ми зупинили свій вибір на сушених сланях водоростей. Як відомо, до їх складу входять багато макро- та мікроелементів, зокрема йод, селен, цинк, кальцій, калій, хлор, фосфор, магній та ін. Нами було досліджено мінеральний склад морських водоростей вакаме та ламінарії, яке виконано на спектрометрі E1vaX компанії "Элватех" і представлено на рис. 1 і в табл. 1.

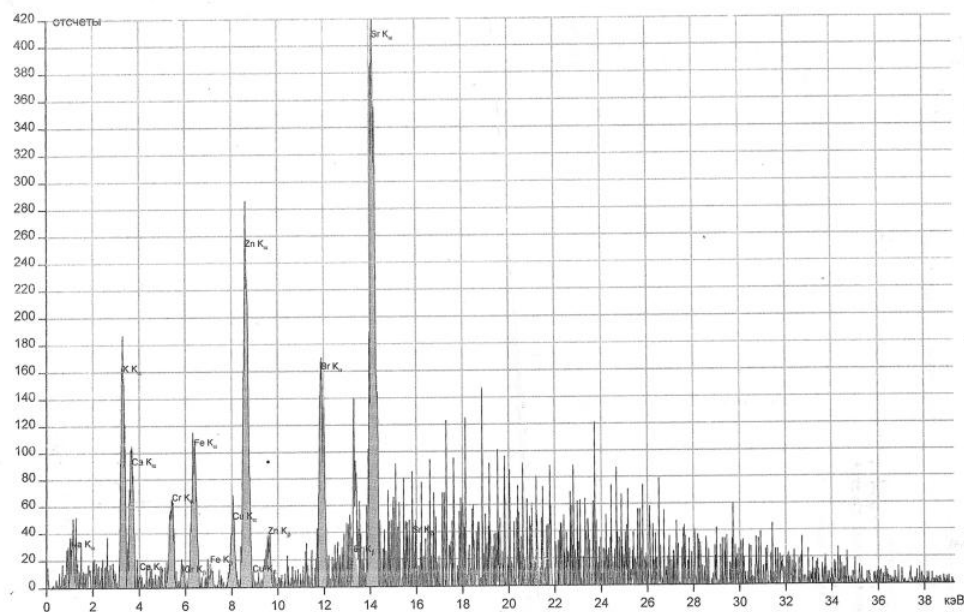


Рис. 1. Спектрограма порошку водоростей вакаме

Дані наведені в таблиці 1 у відповідності адекватному рівню добового споживання людиною.

Таблиця 1 – Вміст макро- і мікроелементів у морських водоростях в порівнянні з добовою потребою людини

Мінеральний елемент мг/100 г	Ламінарія	Вакаме	Добова потреба, мг
Калій	1340,3±35,4	1351,7±40,55	120,0±36,0
Кальцій	448,2±15,6	8275,6±24,8	100,0±3,0
Магній	124,1±11,5	107,0±3,21	40,0±1,2
Фосфор	143,1±8,6	120,0±3,6	120,0±36,0
Залізо	8,75±0,5	2,18±0,07	1,50±0,045
Селен	5,41±1,4	0,7±0,02	0,2±0,006
Цинк	2,01±0,18	0,38±0,01	1,50±0,045
Йод	390,68±1,4	38,0± 1,14	0,15±0,005

Аналіз даних таблиці 1 показав, що морські водорості багаті калієм і здатні задовольнити від 2,9 до 53,6% добової потреби в цьому елементі. Вміст його виявлено в ламінарії та вакаме на одному рівні – 1 340,3 та 1351,7 мг/100 г відповідно. Як відомо, калій – найважливіший клітинний елемент, який на відміну від натрію не сприяє затриманню води в організмі, а також бере участь у регуляції збудливості м'язів, перш за все серцевих.

Результати наших досліджень показали, що у водорості вакаме більш високий вміст кальцію – 8275,6 мг / 100 г. В організмі людини він є одним з універсальних вторинних посередників у клітинах і регулює різні внутрішньоклітинні процеси – м'язове скорочення, секрецію гормонів і нейромедіаторів. Тому включення в раціон харчування продуктів, що містять кальцій, є актуальним завданням нутриціології.

З досліджених нами водоростей більше магнію виявлено в ламінарії – 124,1 мг / 100 г відповідно, в кількості, що перевищують мінімальну добову потребу в 2 рази і, отже, ламінарія може бути рекомендована в якості цінного інгредієнту цього мікроелементу, оскільки він бере участь в більш як 300 реакціях, необхідних для функціонування організму, впливає на засвоєння вітамінів групи В і кальцію, важливий для метаболізму вітаміну С, фосфору, натрію і калію, активує роботу більше 50% ферментів, бере участь в обмінних процесах.

За вмістом заліза всі досліджені нами водорості задовольняють від 23 до 90% добової потреби в цьому мікроелементі.

Особливо цінним є високий вміст йоду, в усіх зразках він перевищує добову норму. Цей мікроелемент потрібний людині для нормального функціонування щитовидної залози [8, 9].

Для забезпечення високого рівня не тільки фізико-хімічних, а й органолептичних показників якості дослідних зразків батончиків, критеріальними точками нами було обрано масові частки ламінарії - 0,5; 0,75; 1%, а вакаме, відповідно, – 1; 2; 3%.

При введенні 0,5% і 0,75% сушених сланей ламінарії та 1% і 2% вакаме до рецептурної суміші фруктових батончиків органолептичні показники якості наближені до контролю, а при введенні 1% сушених сланей ламінарії і 3% вакаме з'являється присмак та аромат водорості. Тому, найбільш прийнятними за органолептичними показниками є батончики з введенням 0,75% сушених сланей ламінарії та 2% вакаме від маси рецептурної суміші фруктових батончиків.

В даній статті нами доведена ефективність використання водоростей вакаме та ламінарії в якості джерела йоду та інших мінеральних речовин.

Слід відзначити, що перспективним джерелом рослинного походження для отримання біологічно активних речовин, що містять у своєму складі комплекс фізіологічно функціональних інгредієнтів, являється нетрадиційна сировина. Велику зацікавленість вчених викликає листя грецького горіху, як потужна йодовмісна добавка [22, 23].

В таблиці 2 порівняно мінеральний склад листя грецького горіху та водоростей.

Таблиця 2 – Порівняльні дані мінерального складу порошку із листя грецького горіху та водоростей вакаме і ламінарії, мг/100 г

Мінеральний елемент	Листя грецького горіху	Вакаме	Ламінарія
Калій	664±19,92	1351,7±40,55	1340,3±35,4
Кальцій	1240±37,2	8275,6±24,8	448,2±15,6
Магній	1260±37,8	107,0±3,21	124,1±11,5
Фосфор	424±12,72	120,0±3,6	143,1±8,6
Залізо	1,06±0,03	2,18±0,07	8,75±0,5
Селен	–	0,7±0,02	5,41±1,4
Цинк	25,7±0,77	0,38±0,01	2,01±0,18
Йод	1120±12	38,0± 1,14	390,68±1,4

Як видно із таблиці 2, листя грецького горіху дійсно по вмісту йоду перевершує водорості вакаме та ламінарію, причому авторами [22, 23] досліджена динаміка його накопичення, а саме: доцільно використовувати листя, зібрані в період с 29 травня по 12 червня. Але використання його в якості рецептурного інгредієнту батончиків «Vitabar» не доцільно, так як немає промислової переробки листя.

Підвищення біологічної цінності продуктів спеціального

споживання також досягається додаванням у рецептурний склад високобілкових інгредієнтів [3, 4, 6, 7]. Перспективним джерелом харчового білку являється вторинна сировина масложирової промисловості, що отримується при переробці ядра насіння соняшнику за низьких температур. Найціннішими його властивостями являються: високий вміст білку, ненасичених жирних кислот, відсутність токсичних і антипоживних речовин, низька собівартість [3, 4, 10-18].

Вивчено фізико-хімічні показники ядра насіння соняшнику після віджиму олії, зокрема, масові частки сирого протеїну, сирого жиру, вологи, вітаміну Е та глютену, сирі клітковини, крохмалю, глюкози, фруктози сахарози та хлорагенової кислоти в перерахунку на суху речовину.

Фізико-хімічні показники наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Фізико-хімічні показники ядра насіння соняшнику після віджиму олії

Показник	Масова частка в перерахунку на суху речовину, %
Сирий протеїн	42,17±1,27
Сирий жир	25,67±0,77
Сира клітковина	11,87±0,36
Крохмаль	12,53±0,38
Хлорагенова кислота	0,3±0,009
Вітамін Е, мг/100гр	15,4±0,46
Глютен, мг/кг	менше 5
Волога і леткі речовини	8,2±0,25
Глюкоза	0,86±0,03
Фруктоза	0,16±0,005

Як видно із таблиці 3, знежирене ядро насіння соняшнику містить значну кількість білку (42,7%) та жиру (25,67%). Звертає на себе увагу вміст антиоксидантів: хлорагенова кислота – 0,3%, яка впливає на обмін щавлевої кислоти в організмі людини і запобігає подагрі та вітаміну Е – 15,4 мг %. Надзвичайну цінність цього продукту визначає вміст глютену, масова частка якого становить менше 5 мг/кг, що дозволяє віднести ядро насіння соняшнику після віджиму олії до безглютенових продуктів (безглютеновими вважаються продукти, в яких його вміст менше 20 мг/кг).

Визначено жирно-кислотний склад ядра насіння соняшнику після віджиму олії. Особливо хотілося б відзначити високий вміст таких важливих у харчуванні кислот, як олеїнової, лінолевої та арахідонової. У перерахунку на масову частку сирого жиру їх вміст становить відповідно: 6,19%, 16,8% та 0,05%.

Таким чином, ядро насіння соняшнику після віджиму олії

володіє високою харчовою і біологічною цінністю, що дозволяє використовувати його в якості харчового інгредієнту при розробці рецептур харчових продуктів. Крім того, додавання в рецептуру батончиків «Воєнно-польовий» та «Захисник» ядра насіння соняшнику після віджиму олії надасть готовому продукту надзвичайну перевагу – віднести його до групи безглютенових, низькоалергійних продуктів [3, 4].

Так, як насіння соняшнику – це рослинна сировина, було досліджено на вміст генетично модифікованих організмів. Дані наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вміст генетично модифікованих організмів у ядрі насіння соняшнику після віджиму олії

Назва показника	Результат випробувань	Нормативна документація на методи випробувань
Вміст генетично модифікованих організмів (ГМО)		
Наявність цільової специфічної послідовності ДНК рослин	Виявлена	ДСТУ ISO 21569:2008
Наявність цільової специфічної послідовності ДНК промотору 35S (П-35S), вірусу мозаїки цвітної капусти (CaMV) або промотору 35S (П-35S) вірусу мозаїки щорічника (P-FMV)	Не виявлена	ДСТУ ISO 21569:2008
Наявність цільової специфічної послідовності ДНК термінатору NOS (Т-NOS) Т 1 плазміді <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Не виявлена	ДСТУ ISO 21569:2008

Межа визначення методів 0,1% (ERM-BF410b). Чутливість тест-систем – не менше 0,01%.

Як видно з таблиці 4, ядро насіння соняшнику після віджиму олії не містить генетично модифіковану дезоксирибонуклеїнову кислоту (ДНК), що має цільові послідовності промотору 35S та NOS-термінатору.

В якості рецептурного інгредієнту нами використана вторинна сировина переробки молочної продукції – сироватка, не тільки як джерело 50% важливих і біологічно цінних молочних компонентів [20], а ще як і економічно вигідний сировинний ресурс.

Для збагачення батончиків «Воєнно-польовий» та «Захисник» вітамінами, легкозасвоюваними вуглеводами, клітковиною, пектиновими речовинами, макро- і мікроелементами важливо додати до їх складу сухофрукти (фінік, родзинки, сушені яблука, курага, чорнослив, сушений гарбуз та ін.).

В основу розроблення нами рецептури інноваційного продукту

покладено принцип дотримання такого співвідношення інгредієнтів, який би забезпечив можливість коригування добового раціону харчування за основними есенціальними нутрієнтами [21].

Відмінна особливість нашої технології отримання харчового продукту спеціального споживання – батончику «Захисник» полягає в попередній підготовці добавки з водоростей, а саме: помел до розмірів часточок 30-50 мкм, внесення в рецептуру для отримання однорідної консистенції без використання високих температур [21].

При виробництві батончику «Воєнно-польовий» в рецептуру додається дієтична добавка «Нутрію-гем», яка містить гемове двохвалентне залізо Fe^{2+} в біологічно легко доступній для організму формі. Процес виробництва, включаючи формування корпусу батончика, відбувається при температурі не вище $85^{\circ}C$ [21].

На рис. 2 наведена принципова технологічна схема виробництва продуктів спеціального споживання батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник».

Для реалізації інноваційної технології батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник» необхідно вирішити такі завдання:

- забезпечити параметри технологічного процесу, що створюють умови максимального збереження есенціальних нутрієнтів у продукті;

- визначити порядок введення рецептурних компонентів з метою мінімізації негативного впливу технологічних чинників;

- забезпечити отримання готової продукції, що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

Поставлена задача досягається тим, що згідно розробленої нами технології спосіб отримання сухого сніданку батончик здійснюється наступним чином. До мальтодекстринового сиропу (кількість сухих речовин 75-85%) при температурі $100-110^{\circ}C$ (в сорочці) додають ядро соняшникового насіння після віджиму олії, суху сироватку, дієтичну добавку «Нутрію-гем» або порошок бурих водоростей (ламінарія, вакаме), подрібнені сушені фрукти. Суміш перемішують до однорідної маси, охолоджують, формують батончики та глазурують шоколадом. Готовий продукт має форму батончика, маса однорідна, коричневого кольору, пружної консистенції, з глянцевою поверхнею і фруктовим смаком [21].

Досліджені хімічний склад та енергетичну цінність батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник» наведені в таблиці 5.

Як видно з таблиці 5, батончики містять значну кількість есенціальних нутрієнтів, а саме: білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин, що дає нам змогу віднести їх до продуктів із підвищеною біологічною та енергетичною цінністю.

В таблиці 6 наведено органолептичні показники батончиків

«Vitabar».

Проведено дослідження показників безпеки батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник», а саме: за вмістом токсичних елементів, пестицидів, мікотоксинів. Результати наведені в таблиці 7.

На новітні продукти розроблено та затверджено нормативну документацію ТУ У 10.8-39554430-001:2017 «Вироби кондитерські батончики «Vitabar».

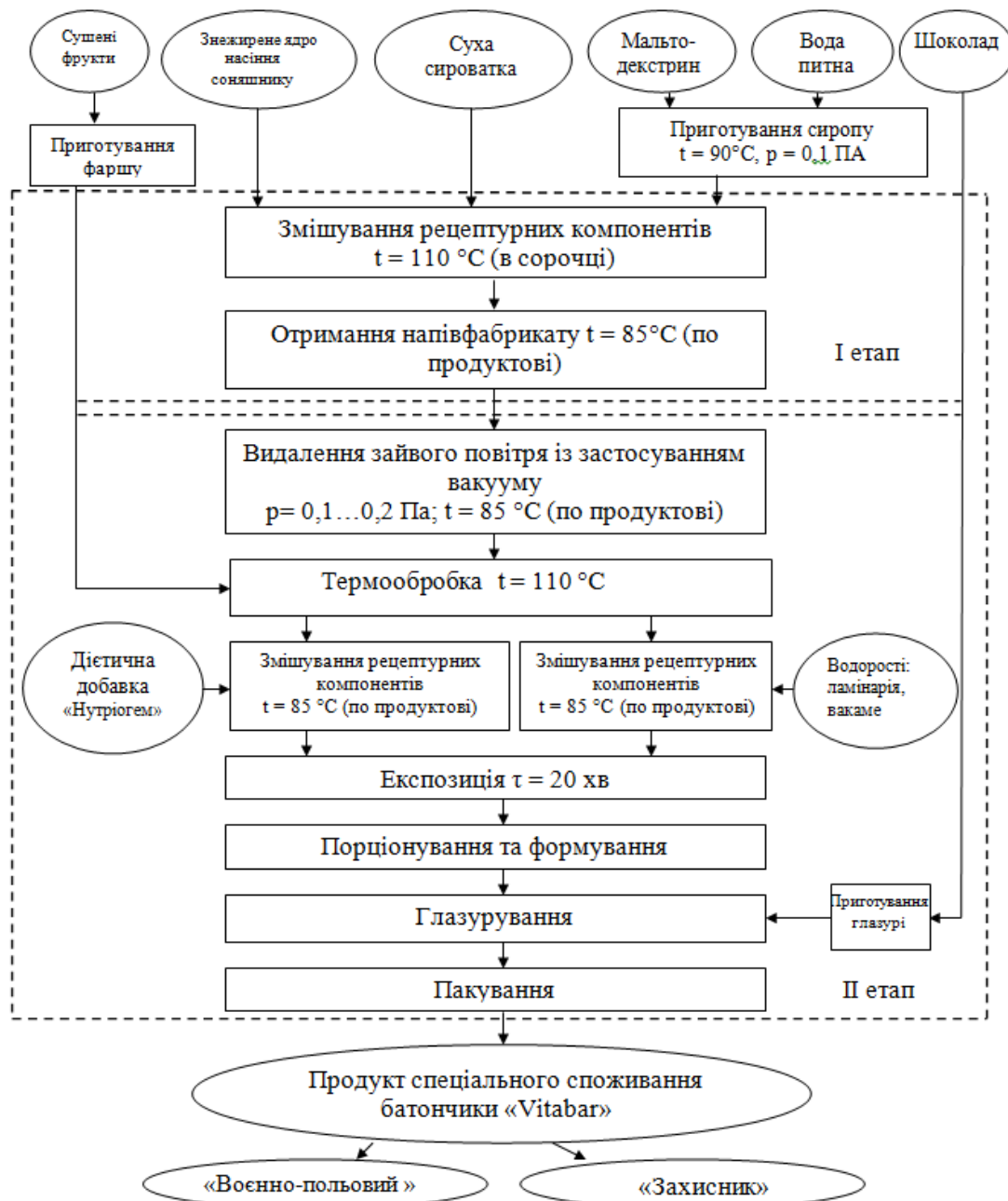


Рис. 2. Принципова технологічна схема виробництва батончиків «Vitabar»

Таблиця 5 – Хімічний склад батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник» (на 100 г продукту)

№	Поживні речовини	«Воєнно-польовий»	«Захисник»
1.	Білки,г	17	22
2.	Жири,г	14	22
3.	Вуглеводи,г	15	61
4.	Харчові волокна,г	2,2	
5.	Вітаміни, мг:		
	В ₁	0,5	0,5
	В ₂	0,7	0,6
	В ₃	0,4	0,5
	В ₆	0,2	0,4
	В ₉ , мкг	43,4	63
	В ₁₂ , мкг	0,12	0,12
	РР	2,4	3,3
	С	1,8	1,8
	А, мкг	3,7	106
	Е	5,9	8,5
6.	Мікро- та мікроелементи:		
	І, мкг	3,3	2,8
	Se, мкг	10,5	14,9
7.	Гемове залізо, мг	2,2	
Калорійність, ккал		421	526

Таблиця 6 – Органолептичні показники батончиків «Воєнно-польовий» та «Захисник»

Найменування показників	Характеристика показників для батончиків
Зовнішній вигляд, форма	Батончики в формі прямокутника товщиною 3,5-4 см, з рівним зрізом, без полонів, псувань, вм'ятин корпусу. Батончики з глазур'ю повинні бути покриті рівним чи злегка хвилястим шаром глазури або мати малюнок на поверхні.
Поверхня	Гладка, блискуча, не липка. Без посивіння та ушкоджень.
Структура	Дрібнокристалічна, не груба, щільна, з рівномірним розподілом компонентів по всій масі. Для батончиків з додаванням горіхів, насіння, сушених фруктів і інших харчових добавок згідно з рецептурою, затвердженою в установленому порядку, – не однорідна, жорсткувата.
Колір	В темній шоколадній глазури – темно-коричневий; в молочно-шоколадній глазури – світло-коричневий; в білій шоколадній глазури – білий. Допустима наявність відтінків.
Смак та запах	Приємний, властивий компонентам, що входять до складу батончиків згідно затвердженої рецептури з вираженим смаком та ароматом сушених фруктів і шоколаду. Без сторонніх запахів і присмаків.
Примітка 1. В готовій продукції не допускаються сторонні домішки, хрускіт від мінеральних домішок.	
Примітка 2. Допускаються по заявкам споживачів змінювати установлені технічними умовами форму і розміри батончиків.	

Таблиця 7 – Показники безпечності батончиків «VitaBar» на відповідність вимог Державних санітарних правил і норм ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000 (P=0,95)

Назва показника	Значення показника за нормативною документацією	Результат випробувань
Вміст токсичних елементів, мг/кг		
Свинець	Не більше 1,0	0,05
Кадмій	Не більше 0,5	0,27
Ртуть	Не більше 0,03	0,006
Миш'як	–	0,08
Вміст залишкових кількостей пестицидів		
ГХЦГ (сума ізомерів)	Не більше 0,5	Менше 0,001
γ-ГХЦГ	Не більше 0,5	Менше 0,001
ДДТ (сума метаболітів)	Не більше 0,125	Менше 0,001
ДДТ	Не більше 0,125	Менше 0,001
Алдрин	Не допускається	Менше 0,001
Гептахлор	Не допускається	Менше 0,001
Вміст мікотоксинів, мг/кг		
Афлатоксин В ₁	Не більше 5,0	Менше 1,0
Мікробіологічні показники		
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i>	Не допускаються в 25 г	Не виявлені

Проведена апробація продукту спеціального споживання батончиків «VitaBar» та клінічні дослідження показників крові за показниками, рівень гемоглобіну та кількість еритроцитів в трьох контрольних групах військовослужбовців, що знаходилися в різних умовах службової діяльності. Гемоглобін визначали гемоглобінціанідним методом, а еритроцити – методом підрахунку в камері Горяєва. Результати оброблено статистично з розрахунком середнього показника та його стандартної помилки ($M \pm m$) та визначенням статистичної значущості внутрішньогрупових відмінностей («було – стало») за парним критерієм Вілкоксона. Значущість міжгрупових відмінностей визначали за критерієм t Стьюдента. Значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

Узагальнення результатів свідчить, що в усіх трьох групах спостерігалось достовірне зростання вмісту гемоглобіну та кількості еритроцитів у крові військовослужбовців ($p < 0,001$).

Показово, що ступінь зростання досліджуваних показників залежить від вихідного стану. Виразніше збільшення спостерігалось у військовослужбовців I групи, які на час дослідження хворіли, харчувалися за нормою № 5 – лікувальна і мали достовірно нижчий вихідний рівень гемоглобіну та еритроцитів, ніж у здорових військовослужбовців групи II, що перебували у пункті постійної

дислокації та отримували помірні фізичні навантаження (навчання, тренування, добові наряди, вартти) і харчувалися за нормою № 1 – загальновійськова та групи III, які виконували службово-бойові завдання у польових умовах за межами пункту постійної дислокації, отримували великі фізичні та психоемоційні навантаження та харчувалися за нормою № 1 – загальновійськова і за нормою № 10 – добовий набір сухих продуктів.

Таким чином, запропонована нами технологія дозволяє вирішити задачу виробництва сухого сніданку батончиків «VitaBar»: «Воєнно-польовий» і «Захисник» шляхом використання дешевої та доступної сировини вітчизняного виробництва, а саме: сухих молочних продуктів – як джерело повноцінного білку тваринного походження [20]; знежиреного ядра соняшникового насіння – як джерело ненасичених жирних кислот і рослинних білків; дієтичної добавки («Нутріо-гем») – як джерело стабілізованого гемового заліза в двовалентному стані (Fe^{2+}) і повноцінного білку [3, 4]; сухофруктів та порошку бурих водоростей (ламінарія, вакаме) – як джерело макро- і мікроелементів [5], а також додавання меду, цукру для покращення смакових якостей. Даний рецептурний склад сприяє розширенню асортименту сухих сніданків батончиків, зменшенню трудових, енергетичних ресурсів, зниженню собівартості готової продукції та підвищенню ефективності технологічного процесу за рахунок скорочення кількості та тривалості деяких технологічних операцій. І саме основне – при забезпеченні харчуванням бойових підрозділів у різних умовах обстановки сухий сніданок батончики «VitaBar» гарантують дотримання фізіологічних і санітарно-гігієнічних норм, дають можливість скоротити штат кухарів, час на приймання їжі без нанесення шкоди своєму здоров'ю.

Розроблені нами батончики «VitaBar»: «Воєнно-польовий» з гемовим залізом і «Захисник» з органічним йодом і селеном [21] є такими повноцінними продуктами харчування, споживання яких не тільки у стаціонарних умовах, а й при виконанні завдань у конфліктно-кризовому регіоні країни за надзвичайних обставин чи в місцях з особливими умовами служби, а також під час лікування у медичних установах дає можливість коригувати фактичне харчування [3, 4].

Висновки.

1. Встановлено на основі аналізу літературних джерел, що реальний стан фактичного харчування військовослужбовців Збройних Сил України та інших військових формувань не повністю задовольняє фізіологічні потреби організму, а це, в свою чергу, вимагає удосконалення системи продовольчого забезпечення з метою усунення дефіциту життєво важливих нутрієнтів у раціоні,

збалансування їх співвідношення та забезпечення енергетичної повноцінності фактичного харчування.

2. Обґрунтовано рецептурний склад, а саме: сухі молочні продукти (сироватка) – як джерело повноцінного білку тваринного походження; знежирене ядро соняшникового насіння – як джерело ненасичених жирних кислот і рослинних білків; дієтичної добавки («Нутріо-гем») – як джерело стабілізованого гемового заліза в двовалентному стані (Fe^{2+}) і повноцінного білку; сухофруктів та порошку бурих водоростей (ламінарія, вакаме) – як джерело макро- і мікроелементів.

3. Визначено хімічний склад основних рецептурних інгредієнтів, встановлено наявність в них підвищеної кількості повноцінних білків, вітамінів (А, Е, С, В₁, В₂, В₆, В₉, В₁₂, РР), мінеральних речовин, зокрема, J, Se, Fe^{2+} .

4. На основі проведених експериментальних досліджень розроблено технологію продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar»: «Воєнно-польовий» та «Захисник», яка відрізняється від відомих тим, що згідно розробленої нами технології спосіб отримання сухого сніданку батончик здійснюється наступним чином: до мальтодекстринового сиропу (кількість сухих речовин 75-85%) при температурі 100-110°C (в сорочці) додають ядро соняшникового насіння після віджиму олії, суху сироватку, дієтичну добавку «Нутріо-гем» або порошок бурих водоростей (ламінарія, вакаме), подрібнені сушені фрукти. Суміш перемішують до однорідної маси, охолоджують, формують батончики та глазурують шоколадом.

5. Визначено фізико-хімічні показники, серед яких особливо важливу цінність має вміст антиоксидантів (хлорагенової кислоти та вітаміну Е) і вміст глютену (масова частка становить менше 5 мг/кг), а також основні показники якості та безпечності розроблених продуктів спеціального споживання (не містять генетично модифікованих організмів, токсичних елементів, пестицидів та мікотоксинів).

6. Проведено клінічні дослідження, узагальнення результатів яких свідчить, що в усіх трьох групах військовослужбовців спостерігалось достовірне зростання вмісту гемоглобіну та кількості еритроцитів у крові ($p < 0,001$). Це дає змогу констатувати, що продукт спеціального споживання батончики «Vitabar» ТУ У 10.8.-39-55-44-30-001:2017 можна рекомендувати у добові раціони харчування військовослужбовців України як сухий сніданок, як продукт здорового харчування з метою оптимізації раціону.

Література:

1. *Денутат Ю. М.* Гігієнічне обґрунтування корекції загальновійськового добового раціону харчування

військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.02.01. Київ, 2010. 19 с.

2. *Силка І. М.* Оцінка стану харчування військовослужбовців Збройних сил України // Наукові праці НУХТ. 2016. Т. 21, вип. 6. С. 182-188.

3. *Товма Л. Ф., Євлаш В. В., Глущенко В. В.* Фізіолого-гігієнічна оцінка добового раціону харчування військовослужбовців ЗС України та інших військових формувань і його корекція шляхом введення білково-вітамінного продукту «VitaBar» // Честь і закон. 2017. № 1. С. 131-138.

4. Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технології, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія. Харків: ХДУХТ, 2016. 380 с.

5. *Никитин С. В., Губский С. М., Євлаш В. В.* Определение содержания йода в сушеных слоевищах бурых и красных водорослей методом кулонометрического титрования // Сучасні проблеми електрохімії : освіта, наука, виробництво. Харків, 2015. С. 75-76.

6. *Товма Л. Ф.* Удосконалення якості лікувального харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах // ScienceRise. 2017. Вип. 2/1 (31). С. 6-15.

7. *Товма Л. Ф., Крамаренко Д. П., Дейниченко Г. В.* Методика оптимізації складу трикомпонентної харчової системи з метою створення харчових продуктів для військовослужбовців // Бізнес-інформ. 2016. № 1. С. 175-178.

8. *Glinoe D.* The regulation of thyroid function in pregnancy: pathways of endocrine adaptation from physiology to pathology // Endocrine Reviews. 1997. Vol. 18. P. 404-433. DOI: 10.1210/edrv.18.3.0300.

9. *De Benoist B, McLean E, Andersson M.* Iodine deficiency: The extent of the problem; in Preedy VC, Burrow GN, Watson RR (eds): Comprehensive Handbook on Iodine: Nutritional, Endocrine and Pathological Aspects. Amsterdam, 2009. Chapter 48. P. 461-467.

10. Основи військової гігієни. Санітарний нагляд і медичний контроль за харчуванням військ // Медицина. Особиста гігієна. 2013. URL: <http://www.sitesforyou.tk/chastin.html> (дата звернення: 06.10.2018).

11. *Русаков В.* Коллективные и индивидуальные пайки военнослужащих ВС США // Зарубежное военное обозрение. 2014. № 3. С. 35.

12. Функциональные продукты: тенденции и перспективы. По материалам Food Navigator.com // Продукты & ингредиенты. 2015. № 3. С. 8-9.

13. Intelmeal. Пищевая ценность, химический состав и

калорийность. URL: <http://www.intelmeal.ru>. (дата звернення: 06.10.2018).

14. Nutrition Science and Food Standards for Military Operations (Nutrition et normes d'alimentation pour les opérations militaires). Final Report of RTO Task Group. URL: natorto.cbw.pl/uploads/2010/3/TR-HFM-154-ALL.pdf (Last accessed: 02.11.2018).

15. *Meydani S. N., Eksir F.* Optimization of immune function in military personnel // Nutrient composition of rations for short-term, highintensity combat operations, National Academies, Washington. 2005. № 9. P. 330-335.

16. *Milman N.* Anemia – still a major health problem in many parts of the world // Annals of Hematology. 2011. Vol. 90, № 4. P. 369-377. DOI: 10.1007/s00277-010-1144-5.

17. Physical fitness influences stress reactions to extreme military training / *M. K. Taylor et al.* // Mil Med. 2008. Vol. 173, № 8. P. 738-742.

18. The Market for Clinical Nutritional Products / comp. J. Nicole // Market Research. 2010. Vol. 8. P. 108.

19. Про норми харчування військовослужбовців збройних сил, інших військових формувань, осіб рядового і начальницького складу органів внутрішніх справ та кримінально-виконавчої системи: Постанова Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 р. № 426. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/426-2002-%D0%BF> (дата звернення: 13.01.2019).

20. *Чагаровський О. П., Ткаченко Н. А., Лисогор Т. А.* Хімія молочної сировини: навчальний посібник. Одеса: Сімекс-прінт, 2013. 268 с.

21. ТУ У 10.8-39554430-001:2017. Вироби кондитерські батончики «Vitabar» / *В. В. Євлаш, О. В. Горбань, Л. Ф. Товма.*

22. *Красина И. Б., Ниченуренко В. В.* Изучение свойств листьев грецкого ореха для разработки новых видов кондитерских изделий // Известия вузов. Пищевая технология. 2004. № 4. С. 96.

23. Листья грецкого ореха – перспективное йодсодержащее сырье для кондитерской промышленности / *И. Б. Красина и др.* // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 4. С. 49-50.

ОБОСНОВАНИЕ ИНГРЕДИЕНТНОГО СОСТАВА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА СПЕЦИАЛЬНОГО УПОТРЕБЛЕНИЯ БАТОНЧИКОВ «VITABAR»

Товма Л. Ф., Морозов И. Е., Евлаш В. В., Штриголь С. Ю.

Аннотація – целью исследования, которое представлено в данной статье является изучение химического состава и

показателей безопасности сырья отечественного производства, обоснование рецептуры и разработка технологии продукта специального потребления батончиков «Vitabar» для корректировки рационов питания военнослужащих.

**SUBSTANTIATION OF INGREDIENT COMPOSITION
AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF SPECIAL
CONSUMPTION PRODUCT BARS «VITABAR»**

L. Tovma, I. Morozov, V. Yevlash, S. Shtrygol'

Summary

The article substantiates the technology of special consumption product bars «Vitabar» in order to adjust the diet rations for the sportsmen, servicemen and people who have excessive physical activities during their work. Different literary sources which concern to the composition of dry rations for the servicemen of various countries of the world were analyzed. As a result it was found that energetic bars are included to these rations. The biological activity of the essential nutrients was chosen as a criterion for optimization of the prescription composition. These essential nutrients are made of Ukrainian secondary raw materials. The rational parts of ingredients in prescription composition have been determined. The chemical composition of the ingredients which are used for the bars was analyzed as well as their compliance with regulatory documentation of standards. Preclinical researches were carried out on rats. It was also tested on servicemen who perform their duties in various conditions (at the point of permanent disposition, in the field conditions, while performing their daily routine duties and executing the combat tasks). As a result, it was clinically proved the positive influence of protein-vitamin special consumption product bars «Vitabar» on the human's organism.

Based on the studies, the following conclusions were made:

- the chemical composition of the main recipe ingredients has been determined, the presence of an increased amount of high-grade proteins, vitamins and minerals has been established;
- based on the experimental research, the technology of the special consumption product of bars «Vitabar» was developed: «Military Field» and «Defender»;
- product of special consumption bars «VitaBar» can be recommended in daily rations of food of military men of Ukraine.

ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МАРЦИПАНОВИХ ПАСТ

Кравченко М. Ф., д. т. н.,

Рибчук Л. А., асп.*

Київський національний торговельно-економічний університет

Тел. (097) 439-03-08

Анотація – у статті визначено можливість використання молочної сироватки сухої демінералізованої у складі марципанових паст. Встановлено її раціональну концентрацію у рецептурах марципанових паст на основі аналізу сенсорних показників та хімічного складу. Визначено напрями технологічного використання марципанових паст з молочною сироваткою сухою демінералізованою.

Ключові слова – молочна сироватка суха демінералізована, марципанова паста, сенсорний аналіз, органолептичні показники, біологічна цінність, харчова цінність.

Постановка проблеми. Українська сфера кондитерських виробів одна з найбільш модернізованих і висококонкурентних, не зважаючи на посилення суспільно-економічної кризи. Здатність підприємств конкурувати в глобальній економіці залежить від наявності переваг перед конкурентами, які в свою чергу виражаються через сучасну техніку, технологію та інноваційний продукт [1].

Привабливий зовнішній вигляд кондитерських виробів, як і будь-яких інших харчових продуктів, має суттєве значення, так як позитивно впливає на засвоюваність їх організмом людини. Сучасні оздоблювальні напівфабрикати для кондитерських виробів представлені широким асортиментом різноманітних кремів, помад, глазурних мас, пластичних мас з шоколаду, марципану, цукру, малювальних мас, посипок, литих прикрас з карамелі, шоколаду та ін. Особливе місце серед оздоблювальних напівфабрикатів займає марципан.

Марципан належить до висококалорійних напівфабрикатів, виготовлених із дороговартісної сировини (80% мигдального ядра, спожитого в Україні, закордонного виробництва). Це зумовлює пошук нових інгредієнтів, які дозволяють не лише знизити собівартість готових виробів, збалансувати нутрієнтний склад, а й зберегти ексклюзивність органолептики та структури марципанових паст.

© Кравченко М. Ф., Рибчук Л. А.

* Науковий керівник – д. т. н., проф. Кравченко М. Ф.

Аналіз останніх досліджень. Марципан знайшов широке застосування в різних напрямках кондитерського виробництва. За консистенцією марципан може бути рідким і густим. Рідкий марципан використовують для склеювання тортів, тістечок, печива, в якості прошарку борошняних кондитерських виробів. Густий марципан використовують для виготовлення цукерок, батончиків, плиток, а також для покриття кондитерських виробів та в якості пластичної маси для моделювання фігурних виробів [2-4].

Марципан можна готувати сирцевим і заварним способом. Готовий марципан має вигляд білої в'язкої маси, яка має гарну пластичність. Для того, щоб марципан мав білий колір горіхи потрібно підсушувати, слідкуючи за тим, щоб їх колір не змінювався. Оптимальну за якістю марципанову масу можна отримати з солодкого мигдалевого горіху із додавання 1-2% гіркого. Гіркий мигдаль має яскраво виражений мигдальний аромат завдяки глікозидам амігдаліна. В результаті зберігання продуктом розпаду амігдаліна є синильна кислота. Це речовина, що здатна викликати отруєння, тому гіркий мигдаль використовується в обмежених кількостях [3, 4].

Відомі технології марципанових паст в рецептурний склад яких включали грецький горіх, фундук, кеш'ю, пекан, арахіс, каштан, кісточки вишні, абрикоса, насіння гарбуза [5-8].

Якщо мигдалевий горіх заміняють на кісточки персика чи абрикоса, то такий виріб називається персипан [3].

Відповідно до аналізу сучасних наукових джерел встановлено, що удосконалення технології марципанових цукерок спрямоване покращенню споживних властивостей та зниженню собівартості продукції. Так у рецептуру марципанових цукерок «Білоруська картопля» включають по 8.9% кокосового і какао-масла. Марципанова маса для цукерок «Май» готується з додаванням 7.8% молока сухого знежиреного, а в марципанові цукерки «Ельбрус» додають 16.6% згущеного молока [9].

Молочні продукти та продукти переробки молока у рецептурному складі марципанових паст є оптимально гармонійними компонентами за смаковими та ароматичними якостями. Молочна сироватка суха демінералізована (МССД) – це новий продукт на українському ринку, який ще не набув широкого використання. МССД отримана із підсирної сироватки в результаті електродіалізної обробки із 90% рівнем демінералізації є перспективним компонентом у складі марципанових паст, в першу чергу, за рахунок високої біологічної і харчової цінності. Характерною ознакою демінералізації сироватки під час електродіалізної обробки є зниження рівня титрованої кислотності, вмісту азотистих речовин, так як зменшується вміст органічних кислот і кислих солей, золи, в результаті чого

підвищується розчинність сироватки і її солодкість, а також органолептичні показники. Підсирна сироватка набуває солодкого смаку, без сторонніх присмаків та запахів, що суттєво розширює сферу її застосування і дає можливість включити в рецептурний склад оздоблювальних напівфабрикатів [10].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). На підставі об'єктивних сенсорних показників підтвердити можливість використання МССД у складі марципанових паст, визначити їх біологічну та харчову цінність.

Основна частина. Проектування модельних харчових систем марципанової пасту здійснено за принципом харчової комбінаторики: кількісним підбором основної та додаткової сировини, яка в сукупності забезпечує формування заданих сенсорних показників та показників хімічного складу. Дослідні зразки готували за традиційною технологією сирцевим способом [11].

З метою визначення раціональної концентрації молочної сироватки сухої демінералізованої її додавали у кількості 10%, 20%, 30%, 40% від загальної марципанової маси.

Раціональну концентрацію молочної сироватки сухої демінералізованої визначено за показниками сенсорної оцінки, враховуючи коефіцієнт вагомості (зовнішній вигляд (2), смак (2), запах (2), колір (2), консистенції (2)).

Дані сенсорної оцінки контрольного та дослідних зразків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Сенсорна характеристика марципанових паст з МССД

Зразки марципанової пасту	Зовнішній вигляд	Колір	Смак	Запах	Консистенція	Загальна сенсорна оцінка
	2	2	2	2	2	
Контроль	5.0	5.0	5.0	5.0	4,9	4,98
Дослід 1 (10%МССД)	5.0	5.0	5.0	5.0	4,9	4,98
Дослід 2 (20%МССД)	5.0	5.0	5.0	5.0	4,9	4,98
Дослід 3 (30%МССД)	5.0	5.0	4,9	4,9	4,9	4,94
Дослід 4 (40%МССД)	5.0	5.0	4,5	4,5	4,9	4,78

Досить важливим моментом в моделюванні композицій є підбір інгредієнтів для одержання марципанових паст з МССД близьких до еталонних. Особливо важливим є збереження притаманного лише їм специфічного смаку та аромату.

В результаті сенсорного аналізу встановлено, що внесення МССД у концентрації 10-20% не лише гармонійно доповнюють, а й підкреслює мигдальний смак та аромат. При концентрації 30% МССД з'являється легкий молочний відтінок, понад 30% – переважає молочний смак та аромат.

Концентрація МССД не впливає на показники кольору марципанових паст, так як суха молочна сироватка відповідає кольоровій гамі мигдального горіха.

В результаті сенсорних досліджень консистенції встановлено, що МССД у рецептурному складі марципанових паст покращує функціонально-технологічні властивості, підвищується щільність, міцність. З підвищенням концентрації МССД одночасно підвищується липкість, що ускладнює роботу з пастою, а також знижуються вміст жиру, який відповідає в даній структурі за пластичність, тому не доцільно збільшувати концентрацію МССД понад 30%.

На базі сенсорних досліджень зразок пасти із концентрацію МССД 20% можна рекомендувати для покриття кондитерських виробів, із концентрацією 30% МССД для моделювання фігурних виробів, в якості прошарку для тортів та цукерок.

Хімічний склад досліджуваної сировини визначає її технологічні властивості, перебіг технологічного процесу виробництва продукції з використанням цієї сировини, якість виробів, їх споживчі та фізіологічні властивості.

Хімічний склад та енергетичну цінність марципанової пасти визначали розрахунковим методом на основі фактичного вмісту показників [12]. Хімічний склад контрольного та дослідних зразків марципанових паст з МССД наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад контрольних та дослідних зразків марципанової пасти з МССД, %

Показники	Контроль	Дослід 1	Різниця, од	Дослід 2	Різниця, од	Дослід 3	Різниця, од	Дослід 4	Різниця, од
Білки,%	9.09	9.96	+0.87	11.29	+2.2	11.7	+2.6	12.7	+3.6
Жири,%	21.41	20.07	-1.34	19.67	-1.74	17.27	-4.14	14.38	-7.03
Вуглеводи в т.ч.,%	57.7	61.94	+4.24	68.42	+10.72	70.53	+12.8	71.64	+13.9
Цукроза,%	42.91	39.92	-2.99	38.92	-3.99	33.93	-8.98	27.94	-14.97
Лактоза,%	–	7.5	+7.5	15.1	+15.1	22.7	+22.7	30.3	+30.3
Енергетична цінність, ккал	633	453	-180	455	-178	438	-195	407	-226

Використання МССД у складі марципанових паст дозволило

знизити енергетичну цінність на 29-35%. Енергетична цінність знижується за рахунок зміни якісного вуглеводного складу, адже на 65% зменшується вміст цукрози, в свою чергу збільшується вміст лактози на 30%, що підвищує харчову та біологічну цінність марципанових паст.

Зниження енергетичної цінності відбувається і за рахунок зменшення вмісту жиру на 6-32%. Проте це досить цінний компонент, який відповідає за пластичність консистенції марципанових паст. Жирокислотний склад мигдального горіха має високу біологічну цінність, адже має оптимальне співвідношення між лінолевою і олеїновими кислотами, які в поєднанні із альфа-токоферолом робить мигдальний горіх джерелом антиоксидантів.

Проте додавання МССД у склад марципанових паст дозволяє збільшити вміст білка в 1.4 раза. Як відомо біологічна цінність білків зумовлена якісним і кількісним складом амінокислот. Біологічна цінність білків тваринного походження вища, ніж рослинних. Білки, що містяться в рослинах, не містять деяких незамінних амінокислот, або утримують їх в недостатній кількості. Білки сироватки за своїм амінокислотним складом можна віднести до найбільш цінних серед інших тваринного походження. Тому доцільно порівняти амінокислотний скор білків мигдального горіха та МССД для визначення лімітуючих амінокислот.

Амінокислотний скор – відсотковий вміст кожної з амінокислот по відношенню до її вмісту у білку, прийнятому за стандарт (ідеальний білок). Амінокислота, скор якої має найнижче значення, називається першою лімітуючою амінокислотою.

Ступінь збалансованості незамінних амінокислот встановлювали шляхом порівняння їх скорів зі стандартним білком, запропонованим ФАО/ВООЗ таблиця 3 [12, 13].

Таблиця 3 – Амінокислотний скор білків мигдального горіха та МССД, г / 100 г білка

Амінокислота	Еталон білка (по ФАО/ВООЗ)	Амінокислотний скор	
		Мигдальний горіх	МССД
Лізин	5,5	43	107
Треонін	4,0	50	137
Валін	5,0	98	116
Метіонін + Цистин	2,2	52	26
Лейцин	7,0	77	94
Ізолейцин	4,0	130	80
Тирозин + Фенілаланін	2,8	97	83
Триптофан	1,0	50	98

Як видно з даних таблиці 3, біологічна цінність білків МССД

значно перевищує білки мигдального горіха. Проте вони можуть доповнити один одного за такими амінокислотами як лізин, треонін, триптофан та метіонін, значно покращить амінокислотний скор марципанових паст з МССД таблиця 4.

Таблиця 4 – Якісний і кількісний амінокислотний склад марципанових паст з МССД

Харчові речовини	Контроль		МССД 10 %		МССД 20 %		МССД 30 %		МССД 40 %		Рекомендована добова норма
	вміст	% добової норми	вміст	% добової норми	вміст	% добової норми	вміст	% добової норми	вміст	% добової норми	
Білки, г	9.1	15	10.0	16	11.3	19	11.7	20	12.7	21	
Незамінні амінокислоти, мг											
Треонін	210	7-10	750	25-37	1290	43-65	1820	60-91	2340	78-117	2000-3000
Валін	450	11-15	990	24-33	1550	38-51	2080	52-69	2600	65-86	3000-4000
Метіонін	210	5-10	250	6-12	300	7-15	340	9-17	370	9-18	2000-4000
Ізолейцин	300	7-10	590	14-19	900	22-30	1180	29-39	1460	36-48	3000-4000
Лейцин	600	15-10	1210	20-30	1850	30-46	2430	40-60	3010	50-75	4000-6000
Фенілаланін	470	11-23	670	16-33	890	22-44	1060	26-53	1230	30-61	2000-4000
Лізин	210	4-7	790	15-26	1370	27-45	1940	38-64	2500	50-83	3000-5000
Триптофан	60	6	106	10	160	16	200	20	250	25	1000

Біологічна цінність марципанових паст з МССД характеризується суттєвим збільшенням кількісного і якісного складу білків. Так, концентрація МССД 20-30% збільшує вміст лімітуючих амінокислот таких як лізин у 6-9 разів, треонін – у 6-8 разів. В результаті чого споживання 100 г мигдальної пасти з концентрацією МССД 20-30% забезпечує добову потребу людини на 45-64% в лізині, 65-91% в треоніні.

Висновки. За результатами сенсорного аналізу встановлено, що внесення МССД в рецептурний склад марципанових паст забезпечує показники характерні для традиційної якості продукції.

В результаті аналізу хімічного складу рецептурних компонентів марципанових паст з МССД встановлено зниження енергетичної цінності на 29-35% за рахунок зміни якісного вуглеводного складу, зниження вмісту жиру. МССД в складі марципанових паст дозволяє підвищити їх біологічну цінність збільшити вміст білка в 1.4 рази та доповнити за лімітуючим амінокислотам.

Література:

1. Назарова О. Ю., Чуприна О. А. Сучасний стан кондитерського виробництва як сегменту харчової промисловості // Економіка і суспільство. 2018. № 16. С. 42-49.
2. Тамова М. Ю., Щикарев А. Н., Басюк А. С. Тенденции и инновации мировой кондитерской индустрии // Научные труды КубГТУ. 2015. № 14. С. 96-102.
3. Дмитриева А. Н., Макарова Н. В. Анализ состава изделий из марципана // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 2. С. 28-31.
4. Анет Т. К., Пащук З. Н. Справочник технолога кондитерского производства. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. 560 с.
5. Функциональная кондитерская смесь для изготовления марципана: пат. 2605195 Россия: МПК А23G3/34 / М. А. Левченко, Н. А. Тарасенко. Приоритет даты 20.01.2016.
6. Способ производства тыквенно-марципановых плиток для функционального питания: пат. 2497390 Россия: МПК А23L1/30, А23G3/00 / Ю. Г. Скрипников, В. Ф. Винницкая, Д. В. Акишин, О. В. Перфилова, М. Ю. Коровкина. Приоритет даты 10.11.2013.
7. Кондитерская смесь для изготовления марципана: пат. 2346454 Россия: МПК А23G3/34 / Ю. А. Щепочкина. Приоритет даты 20.02.2009.
8. Кондитерская смесь для изготовления марципана: пат. 2583087 Россия: МПК А23G3/34 / З. А. Баранова, Н. А. Тарасенко. Приоритет даты 10.05.2016.
9. Сирохман І. В., Лозова Т. М. Товарознавство цукру, меду, кондитерських виробів: підручник. 2-ге вид., переробл. та допов. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 616 с.
10. Мінорова А. В., Романчук І. О. Переробка молочної сироватки із застосуванням електродіалізної обробки // Вісник аграрної науки. 2010. № 3. С. 58-60.
11. Гуленко Л., Сібілева Е., Животкевич Л. Рецептури торти, тістечка бісквітні, перекладенці, рулети. Київ: Укрхлібпром, 2013. 600 с.
12. Нестерина М. Ф., Скурихина И. М. Химический состав пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1979. 246 с.
13. Петров О. Ю., Александров Ю. А. Медико-биологические и нравственные аспекты полноценного питания: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2008. 224 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАРЦИПАНОВЫХ ПАСТ

Кравченко М. Ф., Рыбчук Л. А.

Аннотация – в статье определена возможность использование молочной сыворотки сухой деминерализованной в составе марципановых паст.

OPTIMIZATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF MARZIPAN PAST

M. Kravchenko. L. Rybchuk

Summary

Modern confectionery semi-finished products are represented by a wide range of various creams, lipsticks, glazes, plastics made of chocolate, marzipan, sugar, drawing masses, powders, molded caramel, chocolate and others. Marzipan refers to high-calorie convenience foods, made from are as expensive raw materials, 80% almond kernel consumed in Ukraine, foreign production. This makes the search for new ingredients that can not only reduce the cost of finished products, balance nutriyentnyy composition, but also keep the exclusivity and organoleptic structure marzipan pastes. Milk products and milk processing products in the formulation of marzipan pastes are optimally harmonious components for flavor and aroma qualities. Dry demineralized milk serum (MCSD) is a new product on the Ukrainian market, which has not yet become widely used.

On the basis of objective sensory indicators to confirm the possibility of using MSD in the composition of marzipan pastes, to determine their biological and nutritional value. Based on sensory studies, a paste paste with a concentration of 20% MCSD can be recommended for confectionery, with a concentration of 30% MCSD for modeling curly pieces, as a layer for cakes and sweets.

The use of MCSD in the marzipan paste has reduced the energy value by 29-35%. The energy value is reduced due to changes in the quality of the carbohydrate composition, as the content of sucrose is reduced by 65%, which in turn increases the content of lactose by 30%, which increases the nutritional and biological value of marzipan pastes. However, the addition of MCSD in the composition of marzipan paste can increase the protein content by 1.4 times. As a result of the analysis of the amino acid accelerator, amino acids of almonds and MCCs were supplemented by limiting amino acids such as lysine, threonine, tryptophan.

**АНАЛІЗ МОРФОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИВИ
ЛЕГЕНЕВОЇ ШТАМУ PLEUROTUS PULMONARIUS
(FR.) QUÉL. 2314 ІВК ЯК СКЛАДОВИХ ЯКОСТІ
ГРИБНОЇ СИРОВИНИ**

Бандура І. І., к. с.-г. н.,

Кулик А. С., к. т. н.,

Гапріндашвілі Н. А., к. с.-г. н.,

Макогон С. В.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (067) 720-93-04

Анотація – встановлено, що зростки грибів штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 ІВК на стадії біологічної зрілості досягають на 35% більшої маси, ніж в технологічній. Таким чином, збирання грибів на цьому етапі, за умов швидкої реалізації або використання для переробки, більш доцільне з економічної точки зору.

Виявлено, що на стадії технологічної зрілості шапинки більш округлі та темні, а площа їх поверхні на 20% менша, ніж площа шапинок, котрі досягли біологічної зрілості. Визначено, що маса плодових тіл на цих стадіях суттєво не відрізняється, однак, доведено суттєву втрату сухих речовин. Отже, з метою максимального збереження поживної, біологічної цінності, візуальної привабливості під час зберігання у свіжому вигляді та для консервування, рекомендуємо збирати гриби в стадії технологічної зрілості.

Ключові слова – глива легенева, грибна сировина, технологічна та біологічна зрілість, площа шапинки, культивування грибів.

Постановка проблеми. Глива легенева *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél, відома у світі під назвами Phoenix (фенікс), «індійська» або «італійська» глива. Цей вид відрізняється від гливи звичайної швидкою колонізацією субстратів, високою спорулентністю, коротким технологічним циклом. Вирощування грибів гливи легеневої в літній період має ряд економічних переваг: відсутність енерговитрат на підтримання мікроклімату у камерах вирощування,

швидкість технологічного циклу – за 30 днів можна отримати 3 хвили плодоношення, при цьому біологічна ефективність першої хвили вище, ніж 60% [1]. З іншого боку, для грибовиробників вирощування цього штаму вирішує ряд соціальних питань: збереження функціональності підприємства та виробничого штату у міжсезоння, коли ціна на гриби значно зменшується, а собівартість вирощування звичної для споживача гливи звичайної стрімко зростає за рахунок витрат на охолодження культиваційних приміщень.

Аналіз останніх досліджень. В Україні гливу легеневу почали активно вирощувати лише з 2012 року, тоді як Пол Стейметс стверджує, що за популярністю в світі вона вважається четвертою серед культивованих видів [6]. З огляду на можливість отримання плодкових тіл при температурі від 24 до 30°C цей вид є найпопулярнішим у країнах зі спекотним кліматом: південні регіони Європи, Америки та більшість країн Азії.

Згідно з даними сучасних досліджень науковців з Туреччини та Нігерії, глива легенева має високу поживну цінність: вміст сирого протеїну коливається в межах від 27 до 31% при низькій концентрації ліпідів (близько 2%); присутній весь спектр незамінних амінокислот; наявні есенціальні елементи (цинк, фосфор, сірка у кількості, що задовольняє добову потребу у цих речовинах) [4, 7]. Отже, ця грибна сировина може стати реальним вирішенням проблеми підвищення функціональної складової оздоровчого харчування українського споживача.

Українські дослідники, зокрема Гунько та Тринчук, стверджують, що споживча якість грибною сировини залежить від технологічних процесів вирощування та зберігання [2]. Тому важливо визначити стійкі до ушкоджень та високопродуктивні штами вітчизняної селекції, які мають надійні показники поживної цінності.

Штам *Pleurotus pulmonarius* 2314 ІВК з колекції шапинкових культур Інституту ботаніки [3], згідно з результатами наших попередніх досліджень, має ряд переваг перед відомими у світі штамами за рахунок насиченого кольору, швидкості колонізації субстрату та високій біологічній ефективності використання целюлозовмісних субстратів [5]. Штам внесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, але, на жаль, нормативні документи, що визначають технічні вимоги щодо якості та безпечності плодкових тіл цього виду в чинному законодавстві нашої країни відсутні [8]. Тому визначення технологічних характеристик цього штаму є важливим етапом формування якості грибною сировини на всіх етапах процесу культивування та необхідною складовою діяльності з державної стандартизації технологічних вимог щодо його промислового

виробництва.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження – аналіз плодових тіл (базидіом) гливи легеневої штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 ІВК на різних стадіях морфогенезу. Основним завданням дослідження було порівняння характерних показників зростків, окремих карпофорів та шапинок гливи легеневої з метою визначення оптимального часу збирання урожаю та збереження якості грибною сировини у післязбиральний період.

Методи і матеріали дослідження. Культуру штаму гливи легеневої 2314 ІВК з колекції шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. Холодного НАНУ підтримували на поживних середовищах з різними джерелами протеїнів та вуглеводів методом пасажів, які проводили два рази на рік і зберігали за температури 1-2°C. Культуру з пробірки висівали на чашку Петрі з поживним середовищем наступного складу: сухий солодовий екстракт – 30 г, екстракт дріжджів сухий – 2 г, агар-агар – 20 г, вода – до 1 літру. Стерилізували протягом 35 хвилин за температури 120°C. Інкубували культуру за температури 26-28°C. Культуру штаму із середовищем, на сьомий день розвитку, подрібнювали спеціальним міксером у стерильних ємностях з водою у кількості 400 мл. Отриману суспензію використовували для виготовлення 24 кг зернового міцелію (4 поліпропіленових пакета з фільтрами по 6 кг кожний).

Посівний зерновий міцелій виготовляли в умовах ТОВ НВП «ГРИБНИЙ ЛІКАР» (м. Мелітополь) у відповідності до вимог ТУ У 01.3-41163069-001:2017 з суміші зернових: ячменю / пшениці / ріпаку / льону у співвідношенні 10 / 8 / 1 / 1.

Субстрат із соломи ячменю та лушпиння соняшника (1 / 3) виробляли методом аеробної твердофазної ферментації у високому шарі в умовах ФОП Севастьянович (м. Мелітополь). Технологічні показники виготовленого субстрату відповідали вимогам ДСТУ 7316:2013 «Міцелій їстівних грибів субстратний. Технічні умови» та мали наступні параметри: вологість 76,18%; рН-7,49; співвідношення С / N = 69 / 1.

Для інокуляції вносили 3,5% посівного зернового міцелію до маси субстрату. Формували субстратні блоки із застосуванням часткової механізації процесу. Інокульований субстрат ущільнювали в поліетиленових мішках розміром 350×900 мм та товщиною плівки 70 мкм. Отримували субстратні блоки з наступними фізичними характеристиками (в середньому): діаметр – 220 мм, висота – 750 мм, маса – 12,43 ± 0,23 кг.

Субстратні блоки розташовували на полицях камери вирощування методом повної рандомізації. Після розміщення проводили перфорацію блоку у шаховому порядку, кожні 10-15 см

висоти. Площа отворів становила в середньому 0,5% від загальної площі поверхні. Загальне завантаження субстрату на камеру вирощування становило 35 кг на квадратний метр. Повторність варіанту тридцятикратна.

Інкубацію блоків проводили при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ відповідно до умов підтримання температури у центрі блоку $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Середній показник відносної вологості повітря у камері вирощування протягом періоду інкубації $70 \pm 7\%$. Склад повітря в період інкубації не визначали. Освітлення протягом тижня не вмикали, за винятком часу, потрібного на проведення візуального огляду.

Плодоношення почали ініціювати на 8 добу шляхом увімкнення освітлення до 200 люксів на квадратний метр протягом 8 годин. Активну вентиляцію підготовленим повітрям проводили цілодобово і підтримували за наступними параметрами: відносна вологість $87 \pm 3\%$; вміст вуглекислого газу 1050 ± 50 ppm. Температурні показники повітря коливались у межах від 20 до 26°C . Ми не проводили операцій щодо підтримання температури у камері вирощування з огляду на визначення можливості енергозбереження в умовах промислового вирощування. На 11 добу з'явилися перші примордії. На 12 добу з моменту інокуляції провели перший збір грибів у різних стадіях зрілості з 21 блоку.

Розміри та масу отриманих зростків і плодових тіл визначали прямим вимірюванням.

Вперше для опису розміру плодових тіл гливи ми застосували метод визначення площі шапинки за формулою визначення площі еліпсу

$$S \text{ шапинки} = \pi \times a \times b \quad (1)$$

π – 3.14...

a – довжина однієї сторони еліпсу

b – довжина іншої сторони еліпсу

Вважаємо, що ця ознака надає більш конкретну інформацію з урахуванням ексцентричності будови плодових тіл гливи, порівняно з показником діаметра шапинки, який визначали раніше.

Коефіцієнт асиметрії шапинки, визначали діленням ширини на висоту, тому розширені, більш округлі мали показник вище «1», а витягнуті – менше «1».

Коефіцієнт перерахунку потрібен для визначення виробничих витрат у разі отримання тільки окремих шапинок. Такий спосіб роздрібного продажу є дуже популярним у Європі, тому зважаючи на тенденцію до гармонізації вітчизняних вимог щодо зовнішнього вигляду пакування свіжих грибів до європейських, на наш погляд, необхідно володіти даними для перерахунку загальної маси

отриманих грибів на масу шапинок. Отже, коефіцієнт перерахунку визначали діленням маси шапинки на загальну масу плодового тіла.

Вологість базидію та шапинок визначали гравіметричним методом за температури $102 \pm 2^\circ\text{C}$ у сушильній шафі СШ-150.

Статистичний аналіз отриманих даних проводили за допомогою пакету Microsoft Office Excel 2010 (ліцензія №HXV8M-8YJJ4-BCGR3-MRYX-8747Q) та програмно-інформаційного комплексу “Agrostat New” (2013).

Основна частина. Примордії плодових тіл штаму 2314 у сформованих зростках за температури культивування від 20 до 28°C з’явилися на 11 добу на 80% дослідних блоків, але вже на 12 добу на всіх 30 субстратних блоках було визначено перехід до генеративної стадії розвитку.

Варто зазначити, що етапи морфогенезу за умов досліджу змінювалися швидко, протягом декількох годин, без чіткого переходу з технологічної до біологічної стиглості. Однією з візуальних ознак цієї зміни було висвітлення шапинки збоку ніжки. Колір змінювався з інтенсивного бежево-сірого до блілого бежевого (рис. 1). Іншою ознакою було значне потемніння гіменіального шару у центральній частині внутрішньої поверхні шапинки.

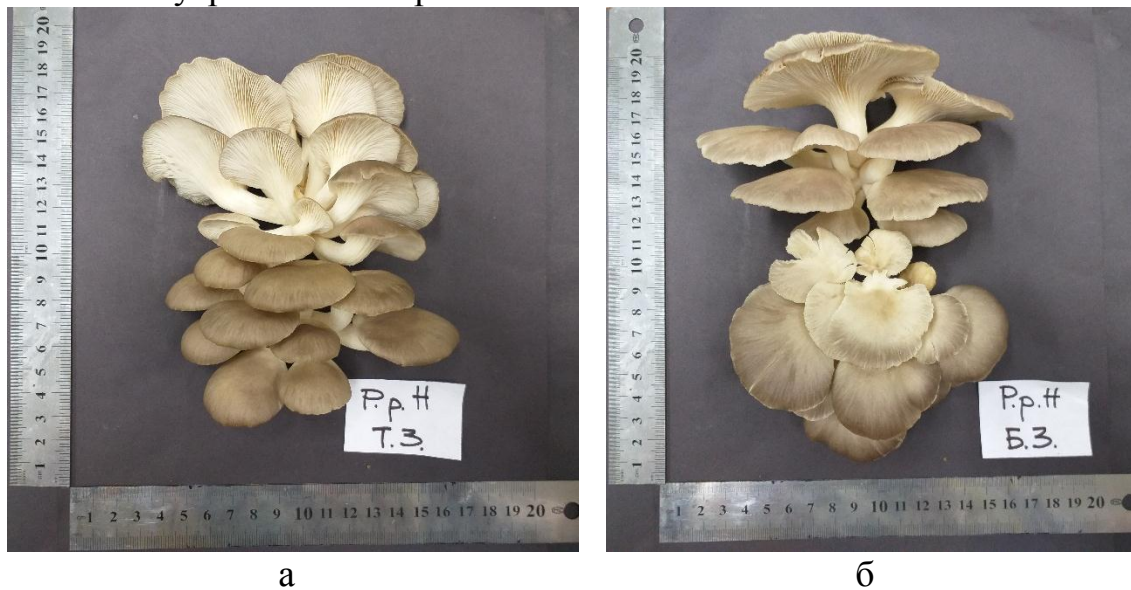


Рис. 1. Морфологічні ознаки зростків базидію штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 (а – технологічна; б – біологічна зрілість) за температури $24-26^\circ\text{C}$ на фазі плодоношення

Статистичним аналізом технологічних параметрів зростків доведено суттєву різницю між стадіями технологічної та біологічної зрілості і визначено оптимальні розміри зростків, придатних до збирання.

Так, маса зростків технологічної зрілості у середньому на 35% менша, ніж маса зростків біологічної зрілості і, відповідно менші –

ширина на 18%, а висота на 17% (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика параметрів зростків плодових тіл штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 за умов культивування при підвищених температурах (24-26°C)

Морфологічні ознаки зростків	Стадії зрілості		НСР ₀₅
	Технологічна	Біологічна	
Маса, г	38,16±3,00	58,37±5,25	12,03
Ширина, мм	99,41±2,44	121,09±3,09	9,30
Висота, мм	71,57±1,95	86,20±2,31	6,02

Морфологічний розвиток базидію штаму гливи легеневої 2314 за умов досліду відбувався протягом 16-24 годин від стадії примордіїв (розмір 2-3 мм) до стадії біологічної зрілості (початку спороношення) (рис. 2).



Рис. 2. Стадії морфогенезу плодових тіл штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 (а – технологічна; б – біологічна зрілість) за температури 24-26°C на фазі плодоношення

Така швидкість морфогенезу дає можливість отримати урожай грибною сировини за короткий термін, але вимагає не менш ніж двократного збору плодових тіл протягом доби. Якщо пропустити перехід від технологічної до біологічної зрілості та зібрати гриби на 1-2 години пізніше, край шапинки стає тонким і швидко розтріскується (рис. 2, б). Подібні пошкодження не тільки псують зовнішні показники карпофорів, але і провокують розвиток бактеріальних колоній на поверхні шапинки, що значно скорочує терміни зберігання цього штаму та потребує негайної післязбиральної переробки.

За результатами аналізу технологічних ознак плодових тіл на різних фазах стиглості, визначено відсутність значимої різниці між

масою та шириною плодових тіл і окремих шапинок. Отже, для фасування у споживчу тару шапинок, а також маринування, де використовуються тільки окремі плодові тіла, слід проводити збирання на фазі технологічної зрілості (табл. 2). Завдяки використанню такого підходу, ми зможемо гарантувати збереження привабливого вигляду грибів протягом зберігання та після температурної обробки.

Доведено, що висота плодового тіла і, відповідно, загальна площа шапинки значно збільшуються з настанням біологічної зрілості (більш, ніж 1000 мм²), тоді як статистичної різниці за показником ширини шапинки не виявлено. Звичайно, це обумовлено біологічними особливостями грибів гливи, які у процесі морфогенезу прагнуть до максимального розповсюдження спор. Для виробників грибів, цей факт має важливе значення, оскільки форма шапинки змінюється від округлої, злегка розширеної в боки, на витягнуту.

Таблиця 2 – Характеристика морфологічних ознак плодових тіл штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314

Морфологічні ознаки	Стадії зрілості		НСР ₀₅
	Технологічна	Біологічна	
Ширина шапинки, мм	41,1±1,41	44,05±1,48	–
Довжина шапинки, мм	38,53±1,0	45,57±1,08	2,92
Висота ПТ, мм	38,53±1,0	45,57±1,08	2,92
Площа шапинки, мм ²	5357±323	6736±378	986
Коефіцієнт асиметрії шапинки	1,06±0,02	0,95±0,02	0,056
Маса ПТ, г	3,95±0,26	3,49±0,24	–
Маса шапинки, г	3,20±0,23	3,04±0,22	–
Маса ніжки, г	0,75±0,04	0,44±0,03	0,11
Коефіцієнт перерахунку	0,79±0,006	0,87±0,005	0,017

Примітка: НСР₀₅ розраховували лише для показників які мали суттєву статистичну різницю ($p < 0,05$).

Таким чином, з переходом від технологічної до біологічної стиглості морфологічні показники зростків та карпофорів гливи змінюються, що варто враховувати під час проведення післязбиральних операцій: сортування, фасування, бланшування, тощо. Потрібно зазначити, що ніжка плодового тіла втрачає масу більш ніж на 40%, тому за умов фасування окремими плодовими тілами можливо значне вкорочення ніжки, що збільшить привабливість упакованого товару та не суттєво вплине на виробничі втрати загальної маси.

Визначення вологості та залишку сухих речовин цілих базидіюм та окремих шапинок у процесі настання біологічної зрілості

дало змогу виявити суттєве зменшення (на 12%) кількості сухих речовин та, відповідно, збільшення вологості шапинки (табл. 3). Пояснюється цей факт активними витратами сухих речовин на спороношення, тому важливо його враховувати для чіткого планування термінів збирання.

Таблиця 3 – Кількість сухих речовин в базидіомах штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314

Базидіома	Стадії зрілості		НСР ₀₅
	Технологічна	Біологічна	
Плодові тіла	11,14±0,14	11,71±0,28	–
Шапинки	11,27±0,27	9,89±0,12	1,11

Висновки. Отже, дослідження виявило ряд змін якісних характеристик плодових тіл гливи легеневої штаму *Pleurotus pulmonarius* 2314 в процесі морфогенезу. Зростки грибів цього штаму на стадії біологічної зрілості характеризуються вищою масою, тому за умов швидкої реалізації або використання грибної сировини зростками для переробки, більш доцільним, з економічної точки зору, є збирання грибів на цьому етапі. На наш погляд, потрібно додатково дослідити зміни біохімічного складу плодових тіл та прояви мікробіологічних уражень під час настання спороношення, для отримання безсумнівних підтверджень такої можливості.

Характерними ознаками технологічної зрілості цього популярного для літнього культивування штаму, були більш округлі та темні шапинки, які мали на 20% меншу площу порівняно з шапинками, котрі досягли біологічної зрілості. І, хоча маса плодових тіл на цих стадіях суттєво не відрізнялась, було визначено істотну втрату сухих речовин. Цей факт дає змогу стверджувати про перевагу збирання грибів на стадії технологічної зрілості з метою максимального збереження поживності та біологічної цінності, а також візуальної привабливості грибної сировини, як під час зберігання у свіжому вигляді, так і для консервування.

Література:

1. Бандура И., Миронычева Е., Кюрчева Л. Отбор устойчивой к высокой температуре и культивированию штаммов *Pleurotus pulmonarius* (fr.) QuéL // *Stiinta Agricola*. 2017. № 2. С. 56-59.
2. Гулько С. М., Тринчук. О. О. Влияние условий хранения на качество грибов // *Научные труды SWorld*. 2014. № 11.1. С. 55-57.
3. Колекція культур шапинкових грибів (ІВК) / Н. А. Бісько та ін. Київ: Альтерпрес, 2016. 120 с.
4. Adebayo E. A., Oloke JK. Oyster mushroom (*Pleurotus* species);

a natural functional food // Journal of Microbiology, Biotechnology & Food S. 2017. Vol. 7 (3). P. 254-264. DOI: 10.15414/jmbfs.2017/18.7.3.254-264.

5. Assessment of the growth and fruiting of 19 oyster mushroom strains for indoor cultivation on lignocellulosic wastes / O. Myronycheva et al. // BioResources. 2017. Vol. 12(3). P. 4606-4626.

6. *Stamets P.* Growing gourmet and medicinal mushrooms. Berkeley, California: Ten Speed Press, 2011. 574 p.

7. Analysis of Major Nutritional Components of *Pleurotus pulmonarius* During the Cultivation in Different Indoor Environmental Conditions on Sawdust / T. Islam et al. // Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2017. Vol. 5(3). P. 239-246. DOI: 10.24925/turjaf.v5i3.239-246.997.

8. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin> (дата звернення: 12.08.2019).

АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕШЕНКИ ЛЕГОЧНОЙ ШТАММА *PLEUROTUS PULMONARIUS* (FR.) QUÉL. 2314 ІВК КАК СОСТАВЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВА ГРИБНОГО СЫРЬЯ

Бандура И. И., Кулик А. С., Гаприндашвили Н. А., Макогон С. В.

Аннотация – установлено, что сrostки грибов штамма *Pleurotus pulmonarius* 2314 ІВК на стадии биологической зрелости достигают на 35% большей массы по сравнению с технологической. Таким образом, сбор грибов на этом этапе, в условиях быстрой реализации или использования для переработки, более целесообразен с экономической точки зрения.

Выявлено, что на стадии технологической зрелости шляпки более округлые и темные, а площадь их поверхности на 20% меньше площади шляпок, которые достигли биологической зрелости.

Определено, что масса плодовых тел на этих стадиях существенно не отличается, однако, доказано значительную потерю сухих веществ. Следовательно, с целью максимального сохранения питательной, биологической ценности, визуальной привлекательности при хранении в свежем виде и для консервирования, рекомендуем собирать грибы в стадии технологической зрелости.

**ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF PLEUROTUS PULMONARIUS 2314 IBK (FR.)
QUÉL. AS QUALITY CHARACTERISTICS OF MUSHROOM
RAW MATERIAL**

I. Bandura, A. Kulyk, N. Gaprindashvili, S. Makogon

Summary

Pleurotus pulmonarius or Lung Oyster is commonly known as Phoenix Mushroom, the Indian or Italian Oyster, has a few differences in comparing with Pleurotus ostreatus, for example, the fast substrate colonization, high level of sporulation and short technological cycle. These peculiarities give some economic preferences for mushroom growers in the summer cultivation time.

During the study, the mass of clusters Pl. pulmonarius 2314 IBK with biological maturity was on 35% more than for technological stage. The collecting mushrooms in that stage will improve economic benefits in case fast selling or processing.

After statistical tests, the significant differences ($p < 0,05$) for a cap square and a round shape were recognized for the fruit bodies in bio- and technological stages. So younger fruit bodies have $K_{ass} = 1,04$ and their square was on 20% less compared with the biological stage. In addition, the color of mushrooms caps with technological maturity was darker.

In spite of, the mass of fruit bodies on both stages didn't have differences, the loss of dry substance was observed.

Consequently, growers must collect Pl. pulmonarius 2314 IBK with a technological stage in a reason to keep the nutrition and biological value and the best visual attractions during the storage time.

The study revealed a number of changes in the qualitative characteristics of the fruiting bodies of the fungus of the lung strain Pleurotus pulmonarius 2314 during morphogenesis. The fungus growths of this strain at the stage of biological maturity are characterized by a higher mass, therefore, in the case of rapid implementation or use of mushroom raw materials for processing, more economically feasible harvesting of mushrooms is at this stage. In our opinion, it is necessary to further investigate the changes in the biochemical composition of the fruiting bodies and the manifestations of microbiological lesions during the onset of sporulation, in order to obtain undoubted confirmations of this possibility.

УДК 664.933.8

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-251-261

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ПРЕСЕРВІВ НА ОСНОВІ БИЧКА АЗОВСЬКОГО ТА ГЛИВИ ЗВИЧАЙНОЇ

Кулик А. С., к. т. н.,

Бандура І. І., к. с.-г. н.,

Булгаков І. В.,

Макогон С. В.,

Загорко Н. П., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (097) 88-600-43

Анотація – у статті виконано аналітичний огляд науково-технічної літератури стосовно існуючих видів продукції із азовського бичка.

Розроблено рецептуру на продукцію із м'яса бичка із овочами, за якою виготовлено пресерви рибо-рослинні, до складу котрих входить до 35% рослинної сировини, а саме грибів, моркви та цибулі.

Ключові слова – бичок, гриби, рибо-рослинні пресерви, хлориди, кислотність, білок, мінеральні речовини.

Постановка проблеми. Невід'ємною частиною турботи про своє здоров'я є прагнення населення до раціонального харчування. Сьогодні більшість людей ставиться до їжі як до ефективного засобу зниження ризику виникнення багатьох захворювань і підтримки психічного та фізичного здоров'я. Однак, останніми роками знижується споживання харчових джерел енергії та білка, особливо у групах населення з низькими доходами. Одночасно виявлено багато людей, які страждають ожирінням, що є наслідком порушення обміну речовин. Згідно з даними, Україна виявилася на останньому місці в Європі за тривалістю життя: у чоловіків вона становить 67 років, у жінок – 77 років [1]. Порушення структури харчування – головний фактор, що наносить непоправну, на кілька порядків сильнішу, ніж екологічна забрудненість, шкоди нашому здоров'ю. Так, вчені Єнського університету імені Фрідріха Шиллера в Німеччині, провели власні дослідження в результаті яких встановили, що рівень смертності в Україні від серцево-судинних захворювань через неправильне харчування з 2016 року становив 38,2% від усіх смертей [2], що підняло її на перше місце (!) в цьому рейтингу.

Однією з найважливіших особливостей сучасного розвитку харчової промисловості у всьому світі є розробка функціональних продуктів харчування [3], ринок яких щорічно збільшується на 15-20% [4].

На даний момент відомо близько 300 тисяч найменувань продуктів харчування функціонального призначення. На думку американських і японських учених, в недалекому майбутньому саме функціональна продукція змінить структуру харчування всього населення [5].

Згідно з теорією про функціональне харчування, ризик виникнення онкологічних захворювань знижується при нормальному надходженні в організм людини білку рослинного походження, розчинних харчових волокон, які знижують рівень холестерину, продуктів багатими омега-3 жирними кислотами, зі зменшенням загального рівня споживання жирів [6].

Враховуючи всі наведені факти актуальним питанням є розробка функціонального продукту з підвищеним вмістом білку, в тому числі рослинної природи, багатим на омега-3 жирні кислоти, харчові волокна та зниженим вмістом жирів. Крім того, продукт повинен бути доступним для масового споживання за ціною категорією. Таким продуктом, на наш погляд, можуть стати риборослинні пресерви, на основі м'яса бичка азовського та грибів гливи звичайної.

Створення продуктів на рибній основі з включенням рослинних інгредієнтів, сумісних із рибною сировиною за органолептичними та технологічними властивостями, дозволять нам отримати збалансовані по складу риборослинні пресерви – з високою харчовою цінністю, що сприятиме оздоровленню нації та дозволить розширити асортимент продукції на ринку.

Аналіз останніх досліджень. Біокомпоненти грибів підвищують імунітет, чинять гепатопротекторну, протипухлинну, антидіабетичну, кардіологічну дію, сприяють зниженню рівня "шкідливого" холестерину, покращують функціональний стан нервової та статевих систем [7].

При вживанні їстівних грибів людина отримує комплекс органічних сполук, серед яких ті, що мають фармакологічні властивості, і вони впливають на організм значно м'якше, ніж синтетичні засоби, краще переносяться і, як правило, не мають кумулятивної здатності [8]. В клітинній оболонці грибів міститься до 60% сухої маси хітину [9]. Хітин і хітозан справляють протівірусну, антибактеріальну, протипухлинну дію, активізують діяльність макрофагів. Хітин також має здатність до сорбції важких металів, радіонуклідів тощо [10]. Зараз хітин і хітозан широко

використовуються в різноманітних біотехнологічних процесах. У клітинній оболонці грибів містяться меланіни, які характеризуються антиоксидантними, радіопротекторними, імуномодулюючими та гепатопротекторними властивостями [11]. Пептидоглюкани, гетерополісахариди та хітин входять до складу грибної клітковини, яка поліпшує роботу шлунка й кишечника, сорбує та виводить із організму іони важких металів, радіонукліди та інші канцерогени, а полісахариди, крім того, підвищують продукцію антитіл до гепатиту В [7].

До складу грибів входить широкий спектр вітамінів: В₁, В₂, В₃, РР, В₅, В₆, В₁₃, С, D і провітаміни А та D.

Якість білків гливи наближається до білків тваринного походження. Її міцелій містить понад 30% білка, всі незамінні амінокислоти (крім триптофану), низку ненасичених жирних кислот, полісахариди, вітаміни В₁, В₂, В₅, В₆, В₇, С і провітамін D. Плодові тіла гливи містять значну кількість вітаміну РР. Мінеральний склад представлений іонами кальцію, міді, феруму, магнію, мангану, фосфору, сіліціуму, калію, цинку. Загалом, плодові тіла гливи містять, %: мінеральних речовин – 7.9, сирової клітковини – 12.0, білка – 15.7-30.0, вуглеводів – 54.4-81.8 [8].

Отже, використання культивованих грибів як білкових композицій при виробництві харчової продукції, в тому числі функціонального призначення, є досить перспективним і економічно доцільним [12].

На даний час в Україні споживання рибопродуктів значно нижче рекомендованих норм і складає в середньому 7,0 кг на рік на душу населення, тоді як у країнах Європи – 22,4 кг на рік. Однією з причин низького споживання рибної продукції є її відносно висока ціна, недостатньо широкий асортимент кулінарної продукції та напівфабрикатів з рибної сировини, а також їх недостатньо висока якість.

Велике значення для рибного промислу мають Азовське та Чорні моря, на них у 2018 році припало 59% від загального обсягу вилову: Азовське море – 16149,7 тонни; Чорне море – 8332,6 тонни. Найбільшу частку (44%) української морської сировинної бази Одеської та Запорізької областей складає такий вид риби, як бичок азовський (бичок-головач *Neogobius kessleri*, бичок-кругляк *Neogobius melanostomus* і бичок-піщаник *Neogobius fluviatilis*) обсяг вилову котрого у 2018 році становив 10866,5 тонн [13]. Він характеризується низьким рівнем ліпідів – 1-2,5%, високим вмістом повноцінних білків – 16-18% та мінеральних елементів – кальцію, калію, фосфору [14].

На ринку представлений асортимент консервів з даного виду сировини – «Бички копчені в олії», «Бички бланшовані в томаті»,

«Бички смажені в томаті», а також бички цілі у замороженому та сушеному вигляді.

Завдяки такому багатому хімічному складу та високому рівню засвоюваності, а також невисокої вартості і цілорічної доступності на вітчизняному ринку бичок азовський є перспективним об'єктом технологічної переробки для використання у технологіях «бюджетної» структурованої кулінарної продукції. Проблеми розвитку теоретичних основ і практичних аспектів розроблення технології полікомпонентних продуктів харчування на основі рибної сировини досліджувалися у працях таких вітчизняних і зарубіжних вчених: Л. С. Абрамової, С. А. Артюхової, О. С. Віннова, А. А. Горбатовського, Т. К. Лебської, Т. М. Сафронової, О. В. Сидоренко, П. П. Пивоварова, Ф. В. Перцевого, А. Hashimoto, S. Nishi-moto, N. Ratoh та ін. Праці цих дослідників присвячені вирішенню технологічних завдань перероблення рибної сировини і гідробіонтів, розширенню напрямів використання їх у кулінарній продукції.

Розроблено рецептури рибних пресервів із дрібних оселедцевих риб із додаванням рослинної сировини з високим вмістом каротину (обліпіха) та сорбінової кислоти (журавлина) [15].

На даний час відомі технології рибоовочевих консервів, які виробляють із тушок, печінки, ікри, молоко різних риб, з додаванням різних овочів, крупів, а також фруктів. Консерви з фаршів випускають із задалегідь підготовленої суміші рибоовочевих або рибокруп'яних компонентів у вигляді голубців, тефтелів, фрикадельок, фрикасе, котлет, сосисок тощо [16].

Вченими із Національного університету біоресурсів та природокористування розроблено рецептуру пресервів із мідій, з прісноводної риби, збагачених пряно-ароматичними коренеплодами [17, 18].

Науковці із Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського запропонували рецептуру рибних пресервів із філе оселедця в апельсиновому соусі [19].

На замовлення товариства з обмеженою відповідальністю "САМ ФІШ" розроблено спосіб приготування пресервів із риби з грибами [20]. Відповідно до патенту, розроблено 9 різних рецептур пресервів із оселедця та овочевої сировини: кукурудзи, цибулі сушеної (провареної) та грибів сушених (проварених).

Клунна А. В. Та Гірдвайніс А. розробили спосіб готування пресервів із оселедця з ананасами [21]. Згідно з [21] запропоновано низку нових рецептур, які включають таку овочеву сировину, як морква, цибуля сушена, ананаси сушені, петрушка, селера.

Відомий спосіб виробництва харчового рибного фаршу, технологія якого полягає у розбиранні риби, тонкому подрібненні філе із шкірою при подальшому промиванні в розчині органічних (янтарної та лимонної) кислот [22].

П. П. Пивоваровим запропонований спосіб комплексної переробки риби, що включає сепарування риби на м'язову фракцію, кісток із подальшим використанням харчових відходів (зокрема шкіри, сполучної тканини та бульйону з кісткової фракції) для отримання структурованого рибного напівфабрикату з високою харчовою цінністю [23].

Результатами аналізу останніх досліджень та публікацій підтверджено гіпотезу доцільності розроблення рецептури функціональних рибо-рослинних пресервів на основі бичка азовського та гливи звичайної.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті – наукове обґрунтування рецептури інноваційних рибо-рослинних пресервів підвищеної біологічної цінності на основі бичка азовського та гливи звичайної для промислового виробництва.

Задачі дослідження:

– за результатами аналізу патентних і наукових джерел запропонувати напрями удосконалення існуючих способів технологічної переробки бичка азовського та гливи звичайної для виробництва рибо-рослинної продукції;

– обґрунтувати доцільність використання азовського бичка та грибів гливи як об'єктів технологічного перероблення у виробництві консервованої рибної продукції;

– встановити оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі рибо-рослинних пресервів;

– розробити пілотну рецептуру рибо-рослинних пресервів;

– провести органолептичний аналіз готових виробів.

Об'єкт дослідження – процес виготовлення рибо-рослинних пресервів збалансованого складу з використанням маринованих грибів «Глива звичайна».

Предмет дослідження – м'ясо бичка азовського (бичок-головач *Neogobius kessleri*, бичок-кругляк *Neogobius melanostomus* і бичок-піщаник *Neogobius fluviatilis*), мариновані плодови тіла гливи звичайної, готові рибо-рослинні пресерви.

Основна частина. Одним із основних положень досліду з метою підвищення ефективності роботи рибопереробних підприємств було використання в рецептурі готової грибною продукції – маринованих плодів тіл гливи звичайної. Продукт закуповували у ФОП Севастьянович (м. Мелітополь). Якість продукції була підтверджена сертифікатами відповідності ТУ У10.3-2374423616-

001:2017, а готовий продукт характеризувався загальним вмістом хлоридів – 2,05%, титрованої кислотності – 0,7% (у перерахунку на оцтову кислоту).

Іншу рослинну сировину, зокрема, моркву та цибулю приймали, інспектували, очищали, мили, подрібнювали та додавали у визначених кількостях до пресервів (за рецептурою) і враховували в рослинну частину. Для виготовлення пресервів, рослинну сировину ми маринували у розчині, який містив: воду – 65,77%, оцет 9% – 18,42%, цукор – 13,5%, сіль – 2,63%. Співвідношення овочі:маринад складало 1:1,5. Готовність продукту в кінці маринування визначали за показником титрованої кислотності (0,3%). Кріп подрібнювали та висушували у сушильній шафі за температури $102 \pm 2^\circ\text{C}$.

Скляні банки мили в розчині, що містив їдкий натр (3%), ретельно промивали водою, обсушували та стерилізували в стерилізаторі за $t = 120^\circ\text{C}$, $\tau = 15$ хв.

Підготовлену рибу змішували із грибами, морквою, цибулею, прянощами відповідно до рецептури, укладали в чисті скляні банки об'ємом 250 мл.

Потім заливали у кількості, яка встановлена чинними нормативними документами [24] на пресерви рибні та консерви риборослинні, маринадами, рецептури яких представлені у таблиці 1 або попередньо прогрітою рослинною олією з температурою не нижче 80°C .

Таблиця 1 – Рецептура маринаду

Сировина	Кількість сировини кг/туб
Сіль	15,34
Перець гіркий	0,5
Перець духмяний	0,8
Коріандр	0,1
Цукровий пісок	10
Лавровий лист	0,3
Оцтова есенція, 80 %	2
Олія рослинна	2
Вода	51,63

В ході проведення досліджень встановлено, що вихід риби для консервування азовського бичка шматочками у шкірі становить $(47,2 \pm 1,39)\%$, шматочками без шкіри $(44,12 \pm 3,62)\%$, філе-шматочками $(40,62 \pm 3,70)\%$.

Прораховано, що в процесі дозрівання в маринаді втрати м'ясного соку становлять 21,7%. Таким чином, щоб отримати риборослинні пресерви, які за співвідношенням складових частин задовольняють вимогам стандарту, в банку номінальною місткістю

250 см³ необхідно вкласти: $0,5 \times 250 \times 1,217 = 151$ г риби.

Мариновані гриби в процесі переробки зберігають початкову вагу. Цибуля вбирає маринад і збільшується у вазі в 1,7 рази. В процесі роботи було створено рецептуру пресервів з азовського бичка та маринованих плодових тіл гливи звичайної, норми закладки компонентів для яких представлені у таблиці (табл. 2).

При розфасовці пресервів на дно банки і на верхній шар риби укладали шматочки грибів, скибочки моркви та цибулі.

Таблиця 2 – Співвідношення компонентів у складі пресервів на етапі фасування на 1 банку номінальним об'ємом 250 см³

Компонент	Дослід		Контроль	
	%	г	%	г
Риба	60	150	77	192,5
Маринад або заливка	15	37,5	15	37,5
Овочі	25	62,5	8	20

Норми витрати прянощів та інших матеріалів відповідають рецептурі приготування кожного виду пресервів. При заповненні банок дотримувались наступного співвідношення (табл. 3).

Таблиця 3 – Рецептури рибо-рослинних пресервів, %

Сировина	Дослід	Контроль
М'ясо бичка азовського	60	77
Маринована глива	17	–
Морква подрібнена маринована	4	4
Цибуля подрібнена маринована	4	4
Маринад	15	15
Кріп сушений	0,012	0,012

До найбільш важливих споживчих властивостей пресервів та консервів, що характеризують якість готового продукту, відносяться органолептичні властивості, біологічна, харчова та енергетична цінність, а також термін придатності та умови зберігання.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 19588:2009. «Пресерви з риби спеціального посолу. Технічні умови» у рибних пресервах органолептично визначають смак та запах, зовнішній вигляд, консистенцію, колір, характеристику розбирання, наявність луски, кількість шматків, їх розмір, порядок укладки, наявність сторонніх домішок. За органолептичними показниками зразки рибо-рослинних пресервів відповідали вимогам стандартів та були відмічені дегустаційною комісією балами, які представлені на рис. 1.

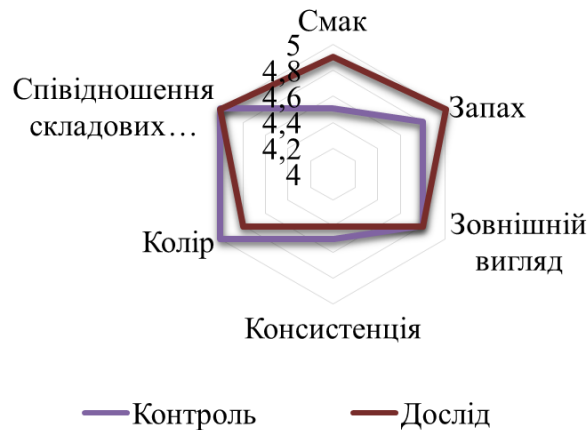


Рис. 1. Результати органолептичного аналізу

Отже, за даними діаграми, з'ясовано наявність більш приємного зовнішнього вигляду та запаху у дослідних варіантах із додаванням маринованих грибів. У цілому, всі зразки характеризувалися доволі високими балами органолептичних показників: від 4,77 у контрольному варіанті до 4,82 у досліді.

Розроблені зразки характеризувалися приємним смаком, з легким ароматом цибулі, соковитою, ніжною, м'якою консистенцією. Шматочки – цілі, поперечний зріз – цілий, порції рівні, з незначними порушеннями шкіряного покрову в місцях контакту з внутрішньою поверхнею банки. Колір – властивий м'ясу даного виду риби.

Однак, філе-шматочки у пресервах, мали досить рихлу консистенцію, що, на наш погляд, потребує проведення подальших досліджень і визначення умов отримання пресервів з задовільною щільністю. Одним із можливих варіантів вирішення цієї проблеми може бути відсутність етапу знешкурювання риби.

Висновки. За результатами аналізу патентних і наукових джерел запропоновано напрями удосконалення існуючих способів технологічної переробки бичка азовського для виробництва рибо-рослинної продукції, зокрема пресервів.

Обґрунтовано доцільність використання азовського бичка та грибів гливи за сукупністю достатніх показників якості як об'єктів технологічного переробляння у складі консервованої рибної продукції. Встановлено, що для отримання продукту, який буде задовольняти вимоги чинних стандартів, норма закладки шматочків сирової риби або філе для продукції у маринаді – 60 % від маси нетто банки. Розроблено рецептуру рибо-рослинні пресервів на основі бичка азовського та грибів гливи звичайної, яка за органолептичними показниками якості відповідає вимогам чинної нормативно-технічної документації. Планується продовження досліджень за заявленою темою та розроблення рецептури рибо-рослинних пресервів із соусами з грибного порошку та пресервів із бичка у шкірі.

Література:

1. Україна оказалась на последнем месте в Европе по продолжительности жизни. URL: <https://www.segodnya.ua/ukraine/ukraina-okazalas-na-poslednem-meste-v-evrope-po-prodolzhitelnosti-zhizni-1184616.html> (дата звернення: 13.07.2019).
2. Україна – перша у рейтингу смертності через неправильне харчування. URL: https://24tv.ua/health/ukrayina__persha_u_reytingu_smertnosti_cherez_nepravilne_harchuvannya_n1096928 (дата звернення: 13.07.2019).
3. *Лыгина Н. И., Рудакова О. В., Соболева Ю. П.* Экономические факторы развития рынка функциональных пищевых продуктов // Социально-экономические явления и процессы. 2014. Т. 9, № 11. С. 115-121.
4. *Шендеров Б. А.* Состояние и перспективы развития функционального питания в России // Гастропортал сегодня. 2013. № 9. С. 24-28.
5. *Афонин В. В.* Функциональные продукты питания – новое направление пищевых технологий // Наука и инновации. 2013. № 4. С. 33-39.
6. *Campbell T.C., Campbell T.M.* The China study: the most comprehensive study of nutrition ever conducted and the startling implications for diet, weight loss, and long-term health. Dallas: Ben Bella Books. 2011. 425 p.
7. *Wasser S. P., Weis A. L.* Medicinal properties of substances occurring in Higher Basidiomycetes Mushrooms: current perspectives (Review) // International Journal of Medicinal Mushrooms. 1999. Vol. 1. P. 31-62.
8. *Яценко О. В.* Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення // Гігієна населених місць. 2012. № 59. С. 234-240.
9. Dietary Supplements from Medicinal Mushrooms: Diversity of Types and Variety of Regulations // *S. P. Wasser [et al.]* // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2000. Vol. 2. P. 1-19.
10. Сорбция ионов меди биомассой, клеточными стенками и хитин-глюкановым комплексом гриба *Trametes hirsute*, выращенного на среде с лактозой / *Н. М. Ровбель* и др. // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии: материалы Междунар. конф. (г. Минск, 26-28 мая 2004 г.). Минск, 2004. С. 325-326.
11. Связывание ионов тяжелых металлов меланином грибов *Phellinus robustus* и *Inonotus obliquus* // *Н. В. Иконникова* и др. // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии: материалы Междунар. конф. (г. Минск, 26-28 мая 2004 г.). Минск, 2004. С. 288-289

12. Дослідження особливостей інтродукції продуктивних штамів екзотичних грибів *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.) Vizzini та *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél / І. І. Бандура та ін. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2017. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-52.

13. Вилов в Азовському морі під загрозою. Чи буде Україна з рибою? URL: https://zik.ua/news/2019/01/31/vylov_v_azovskomu_mori_pid_zagrozoju_chy_bude_ukraina_z_ryboyu_1499271 (дата звернення: 18.07.2019).

14. Мануилов В. В. Актуальные проблемы процесса филетирования азово-черноморского бычка // Рыбне господарство України. 2010. № 3. С. 27-31.

15. Спосіб виробництва рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб із додаванням каротиновмісної сировини: пат. 93811 Україна: МПК А23В 4/12; № 201406184; заявл. 05.06.2014; опубл. 10.10.2014. Бюл. № 19.

16. Скрипко А. В. Обґрунтування та розробка технології рибних паштетів із соєвою білковою пастою: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Б., 2002. 27 с.

17. Пресерви з мідій, збагачені пряно-ароматичними коренеплодами: пат. 116892 Україна: МПК А23L 27/00, А22С 29/00; № 201612660; заявл. 12.12.2006; опубл. 12.06.2017. Бюл. № 11.

18. Пресерва з прісноводної риби з пряно-ароматичними коренеплодами: пат. 98048 Україна: МПК А23В 4/00; № 201412931; заявл. 03.12.2014; опубл. 10.04.2015. Бюл. № 7.

19. Рибні пресерви в апельсиновому соусі "Нептун": пат. 82348 Україна: МПК А23L 1/325; № 201207203; заявл. 13.06.2012; опубл. 25.01.2013. Бюл. № 2.

20. Спосіб готування пресервів із риби з грибами: пат. 36364 Україна: МПК А23L 1/325; № 2008059792; заявл. 05.05.2008; опубл. 27.10.2008. Бюл. № 20.

21. Спосіб готування пресервів із риби з ананасами: пат. 30080 Україна: МПК А23L 1/325; № 200711592; заявл. 19.10.2007; опубл. 11.02.2008.

22. Спосіб виробництва харчового рибного фаршу: пат. 104086 Україна: МПК А23L 1/325; № 201506862; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016. Бюл. № 1.

23. Спосіб комплексної переробки риби: пат. 52311 Україна: МПК А22С 25/00; № 201001244; заявл. 08.02.2010; опубл. 25.08.2010. Бюл. № 16.

24. ДСТУ ГОСТ 19588:2009. Пресерви з риби спеціального посолу. [Чинний від 2009-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ПРЕСЕРВОВ НА ОСНОВЕ БЫЧКА АЗОВСКОГО И ВЕШЕНКИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Кулик А. С., Бандура И. И., Булгаков И. В., Макогон С. В.,
Загорка Н. П.

Аннотация – разработана рецептура на продукцию из мяса бычка с овощами, по которой изготовлено пресервы рыбо-растительные.

DEVELOPMENT OF INNOVATION RECIPES OF PRESERVES WHAT IS INCLUDING AZOV GOBY (NEOGOBIUS) AND OYSTER MUSHROOMS (PLEUROTUS)

A. Kulyk, I. Bandura, I. Bulgakov, S. Makogon, N. Zagorko

Summary

Today, most people regard food as an effective means of reducing the risk of many illnesses and maintaining mental and physical health. According to the theory of functional nutrition, the risk of oncological diseases can be decreasing with the constant intake of plant-derived proteins, dietary fibers, products which contain omega-3 fatty acids, essential vitamins and minerals. Such food materials as fish and mushrooms have a low level of lipid and can be used to diet for losing weight. First, it has a high nutritional value, but another side is available for mass consumption by price category. For example, the fish-vegetable preserves, on the basis of Azov goby's meat and oyster mushroom can be the source of many bioactive compounds.

The analytic analyses of modern science literature about using Azov fish for processing was conducted. The fish of genus Neogobius can be an approachable and cheap source of proteins, necessary amino acids, and essential microelements. The possibility of the coalescence the food value of fish and Oyster mushrooms bioactive polysaccharides can provide the receiving a new nutrient product with unique functional properties. It is established that in order to obtain a product which will meet the requirements of the current standards, the norm of bookmarking pieces of raw fish or fillets for marinade products is 60% of the net weight of the cans. The recipe for fish and vegetable preserves based on the Azov goby and mushrooms of the common fungus, which according to organoleptic quality indicators meets the requirements of the current regulatory and technical documentation. It is planned to continue research on the stated topic and to develop a recipe for fish and vegetable preserves with mushroom powder sauces and goblet preserves in the skin.

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ З ТРИТИКАЛЕ

Григоренко О. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 44-81-03

Анотація – у статті досліджено можливість виробництва хліба з тритикалевого борошна із застосуванням поліпшуючих харчових добавок для покращення його хлібопекарських властивостей. Доведено ефективність дії додавання лимонної кислоти та гліцерину при замішуванні тіста з тритикалевого борошна, досліджено зміни якості продукції з використанням нетрадиційної борошняної сировини, проведено оцінку якості нової продукції за органолептичними властивостями та стандартними фізико-хімічними показниками якості.

Ключові слова – хлібопекарське та кондитерське виробництво, асортимент, тритикале, хлібопекарські властивості, поліпшувачі, якість.

Постановка проблеми. Аналіз сучасного українського ринку хлібобулочних виробів показує, що представлений на ньому асортимент виготовлений, переважно, з пшеничного та житнього борошна. Обмеженість використання інших видів борошна (від 5 до 20%, іноді до 40% на заміну пшеничного), нетрадиційних для хлібопекарської та кондитерської галузей, пояснюється незадовільними структурно-механічними та органолептичними властивостями готових виробів і свідчить про необхідність застосування поліпшуючих харчових добавок [1-4].

Серед речовин-регуляторів кислотності провідне місце посідають органічні кислоти та їх натрієві солі. Доцільно використовувати добавки, що характеризуються економічною та сировинною доступністю (лимонну та оцтову кислоти, цитрат натрію, ацетат натрію). В якості речовин, здатних до утворення водневих зв'язків, можна застосовувати багатоатомні спирти (зокрема, гліцерин) [2].

Використання запропонованих добавок дає можливість не тільки поліпшувати якість виробів зі слабого пшеничного борошна, але й залучати до виробництва нетрадиційну вітчизняну борошняну

сировину, а саме, тритикалеве борошно. Воно характеризується більш високою харчовою цінністю та низькою вартістю порівняно з пшеничним борошном, мають нейтральні смак і запах, а також завдяки високому урожайному потенціалу зерна, невибагливості до умов вирощування, стійкості до хвороб здатні стабілізувати виробництво продовольчого зерна [1].

Таким чином, розробка науково обґрунтованих технологій борошняних хлібопекарських і кондитерських продуктів, що дозволить розширити сировинний потенціал галузі та асортимент готової продукції, підвищити її харчову цінність, є актуальною і важливою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Розробці наукових основ використання різноманітної борошняної сировини і харчових добавок для поліпшення продуктів хлібопекарської та кондитерської галузей присвячено роботи відомих вітчизняних науковців В. І. Дробот, А. М. Дорохович, О. М. Сафонові, Н. М. Осокіної, а також вчених Л. Я. Ауермана, Н. П. Козьміної, Р. Д. Поландові, Л. І. Пучкової, R. Swanson, R. S. Kadan і багатьох інших. Проте, досвід використання поліпшувачів стосується переважно продуктів з борошна пшеничного. Бракує досліджень із застосування добавок для поліпшення якості продукції з інших, нетрадиційних видів борошна, або вони не мають системного характеру [1-4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета роботи полягає в теоретичному та експериментальному обґрунтуванні технологій хлібопекарських виробів з нетрадиційної борошняної сировини, а також механізмів регулювання структурно-механічних властивостей тіста шляхом використання добавок для розширення асортименту, підвищення споживчих властивостей і харчової цінності хлібопекарської продукції.

Основна частина. Принципова схема приготування тіста з тритикалевого борошна з додаванням поліпшувачів наведена на рис.1.

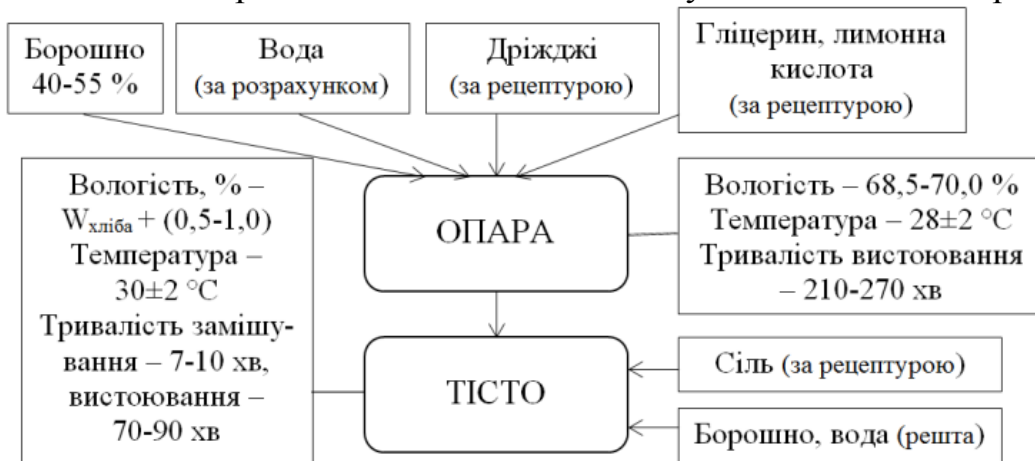


Рис. 1. Схема приготування тіста з тритикале на густій опарі

Вміст білка у напівфабрикатах визначали за ДСТУ 4117-2007, клейковини – за ДСТУ 21415-1:2005, індекс деформації клейковини – за допомогою приладу ВДК-7, силу борошна – за стійкістю кульки тіста у воді. Газоутримувальна здатність – за зміною об'єму тіста в мірному циліндрі за температури 30°C, відносної вологості повітря 75% в термостаті до моменту його втрати. Визначення об'єму та оцінювання якості хліба – за методикою державного сортовипробування.

Оцінювання зовнішнього вигляду хліба, отриманого з пшеничного та тритикалевого борошна, проведено за наступними показниками: колір скоринки, поверхня скоринки, глянцеovitість поверхні. Еластичність, аромат, смак, крупність пор і товщина стінок, рівномірність їх розміщення, консистенція під час розжовування м'якуша була дуже високою, проте решта показників істотно змінювались.

За результатами пробних лабораторних випікань структурно-механічні властивості готової продукції за використання добавок поліпшуються (знижується крихкість і покращується пористість хліба, зростають формостійкість і пористість хлібних виробів).

Базуючись на поглядах про вирішальну роль білків у комплексі складових борошна, регулювання структурно-механічних властивостей тіста розглядали, головним чином, як модифікацію нативних властивостей білкових речовин борошняного тіста. Більшість гіпотетичних моделей будови клейковини протягом тривалого часу передбачали стабілізацію її тривимірної структури за рахунок ковалентних, переважно дисульфідних, зв'язків. В теперішній час широку підтримку одержують уявлення про важливу роль білок-білкових взаємодій, які здійснюються іонно-електростатичними силами та індують конформацію молекул, яка забезпечує найбільш ефективні міжмолекулярні взаємодії через невалентні сили.

Про кореляцію між конформаційним станом білків і зміною кількості ефективних водневих зв'язків свідчить етерифікація амідних груп клейковинних білків, що супроводжується погіршенням реологічних властивостей клейковини [2].

Із зміною рН середовища чітко проявляється амфотерний характер білків. У кислому середовищі відбувається пригнічення кислотної дисоціації карбоксильних груп та інтенсивне протонування NH₂-, NH- груп; у лужному, навпаки, інтенсифікується їх депротонування та дисоціація карбоксильних груп.

Виходячи з цього, порушення співвідношення плюс – та мінус – зарядів у білковій молекулі шляхом регулювання рН середовища призведе до зміни електричного балансу в макромолекулі, до зміщення взаємодій “білок-білок” у бік взаємодій “білок-розчинник”.

Агрегаційна рівновага розгорнутих макромолекул білка буде нестійкою; вони виявлятимуть високу здатність до агрегації. Для забезпечення нової взаємодії “білок-добавка” пропонується вводити в середовище речовини з високою здатністю до утворення контактів з білком шляхом електростатичних взаємодій (у тому числі через водневі зв'язки) [2].

Експериментальне підтвердження наукової гіпотези отримано із застосуванням харчових органічних кислот та їх натрієвих солей (в якості добавок-регуляторів кислотності, здатних змінювати рН середовища (табл. 1) та багатоатомного спирту (в якості агрегуючої добавки). Масова частка добавок варіювала в межах, встановлених попередніми пробними лабораторними випічками (лимонної кислоти 0,05-0,15%; гліцерину 0,3-1,2% до маси борошна).

Таблиця 1 – Показники якості пшеничного тіста та хліба з тритикале

Показники якості	Контроль (пшеничне тісто)	Тритикалеве з добавками
Тісто		
Титрована кислотність, °Н:	1,65	2,20
– початкова	2,75	3,00
– кінцева	Δ1,10	Δ0,80
Активна кислотність (рН):	6,00	5,50
– початкова	5,20	5,00
– кінцева	Δ0,80	Δ0,50
Кількість зброженого цукру, %	0,96	1,40
Кількість етилового спирту у 100 г тіста, %	0,120	0,200
Тривалість бродіння, хв.	165	140
Тривалість вистоювання, хв.	55	50
Хліб		
Зовнішній вигляд	Нерівна поверхня, є тріщини	Гладка поверхня, без тріщин
Колір та стан м'якушки	Світла, крихка	Світла, еластична
Стан пористості	Великопориста, середня товщина стінок пір	Дрібна, рівномірна, тонкостінна
Смак та аромат	Специфічний для пшеничного хліба, без сторонніх запахів	Добре виражений специфічний для хліба, без сторонніх запахів
Питомий об'єм, см ³ /г	3,00	3,40
Формостійкість, Н/Д	0,30	0,45
Пористість, %	65	73

Рекомендовано додавання добавок у дріжджову суспензію (за однофазного способу виробництва хліба) або в опару (за двофазного)

[2]. Встановлено підвищення активної та титрованої кислотності тіста в присутності поліпшувачів (див. табл. 1).

Більш високе початкове значення кислотності дослідного зразка пояснюється присутністю кислоти, додатково введеної в тісто; зменшення різниці ΔK з 1,10 у пшеничного тіста до $0,80^{\circ}N$ у тісті з добавками пояснюється зниженням активності молочнокислих бактерій у більш кислому середовищі. Помітна різниця між значенням рН контрольного та дослідних зразків пояснюється збільшенням кількості вільних іонів водню, джерелом яких є кислота, що дисоціює. Порівняно з контролем різниця ΔpH наприкінці бродіння дослідного зразка зменшується з 0,80 до 0,50 відповідно, що пояснюється зв'язуванням певної кількості вільних іонів H^+ аміногрупами білка [2]. Збільшується кількість етилового спирту (на 67%) та зброженого цукру (на 46%) в тісті з тритикалевого борошна з добавками.

Підтверджено, що добавки ефективно покращують структурно-механічні властивості подових виробів зі слабого пшеничного (тритикалевого) борошна за наявності в тісті цукру (до 25...30%) та жиру (до 15%). За додавання добавок помітно поліпшуються формостійкість (від 0,30 до 0,45) та пористість хліба (від 65 до 73%).

Висновки. В результаті досліджень обґрунтовано та розроблено технологію хлібобулочних виробів з використанням пшеничного та тритикалевого борошна з низькими технологічними властивостями, доведено ефективність дії добавок лимонної кислоти та гліцерину при замішуванні тіста з тритикалевого борошна, досліджено зміни якості продукції з використанням нетрадиційної борошняної сировини, проведено оцінку якості нової продукції за органолептичними властивостями та стандартними фізико-хімічними показниками якості.

Література:

1. Лісничий В. А., Рябчун В. К., Панченко І. А., Шатохін В. І. Борошно з зерна ярого тритикале // *Хранение и переработка зерна*. 2003. URL: <https://www.apk-inform.com/ru/processing/11005> (дата звернення: 18.06.2019).
2. Сафонова О. М. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошняних кондитерських і хлібопекарських продуктів з використанням нетрадиційної борошняної сировини: автореф. дис ... докт. техн. наук. Київ, 2007. 42 с.
3. Elucidation of the mechanism that forms breadbaking properties of the spelt grain / N. Osokina end et. // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2/11(92). P. 39-47.
4. Analysis of bakery properties of grain of new varieties and lines of wheat spelts / N. Osokina end et. // *EUREKA: Life Sciences*. 2018. Vol. 2. P. 41-46.

РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРИТИКАЛЕ

Григоренко Е. В.

Аннотация – в статье исследована возможность производства хлеба из тритикалевой муки с применением улучшающих пищевых добавок для повышения ее хлебопекарских свойств. Доказана эффективность действия добавок лимонной кислоты и глицерина при замесе теста из тритикалевой муки, исследованы изменения качества изделий из данного нетрадиционного мучного сырья, проведена оценка качества новой продукции по органолептическим свойствам и стандартным физико-химическим показателям качества.

ASSORTMENT EXPANSION AND QUALITY IMPROVEMENT OF TRITICALE BAKERY PRODUCTS

O. Hryhorenko

Summary

The modern Ukrainian market of bakery products analysis shows that the assortment presented on is made, mainly, from a wheat and rye flour. Limit nature of the use of other types of flour, unconventional for bakery and pastry industries, is explained by unsatisfactory of structural, mechanical and organoleptic properties of bakery products and testifies to the necessity of application of making better food additions. Among the substances-regulators of acidity the leading place take organic acids and their natrium salts. It is expedient to use additions that are characterized economic and raw material availability (lemon and vinegar acids, citrate of natrium, acetate of natrium). As substances, apt at formation hydrogen connections, it is possible to apply polyols (in particular, glycerin).

The use of offer additions gives an opportunity not only to improve quality of wares from a weak wheatflour but also from triticale. It is characterized by a higher food value and low cost comparatively with a wheatflour, have the neutral taste and smell, and also due to high productive potential of grain, unpretentiousness to the terms of growing, firmness to illnesses able to stabilize the production of food grain.

As a result of researches the reasonable bakery products technology is worked out with the use of wheat and flour with subzero technological properties, the lemon acid and glycerin additions efficiency of action is well-proven at the premix of dough from a triticale flour, the products quality changes were investigated with addition of unconventional flour raw material, the new products quality value on organoleptic properties and standard physical and chemical quality indexes was conducted.

УДК 678.048:[631.563:635.156] DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-268-275

ВПЛИВ АНТИОКСИДАНТНОЇ ОБРОБКИ ПЛОДІВ НА ЗБЕРЕЖЕНІСТЬ ЯКОСТІ ГЕТЕРОЗИСНИХ СОРТІВ ТОМАТА З ГЕНАМИ УПОВІЛЬНЕНОГО ДОСТИГАННЯ

Жукова В. Ф., к. с.-г. н.,

Гапріндашвілі Н. А., к. с.-г. н.,

Сухаренко О. І., к. с.-г. н.,

Коляденко В. В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 44-81-03

Анотація – у статті наведено результати аналізу впливу антиоксидантної обробки на збереженість якості гетерозисних сортів томату з генами уповільненого достигання. Встановлено, що застосування обробки томатів антиоксидантними препаратами Х+І+Л і ХР+І+Л знижує швидкість дозрівання плодів, підвищує тривалість зберігання на 33 і 25% відповідно, сприяє покращенню органолептичних показників, підвищенню виходу товарних плодів після зберігання порівняно з контрольним варіантом.

Ключові слова – томат, антиоксидантні препарати, лежкість, зберігання, якість.

Постановка проблеми. За даними ВООЗ, одним з ключових факторів, що визначає здоров'я населення, є якість харчування (20-25%). В середньому 8 з 10 випадків захворювань обумовлені порушенням харчування. Серйозну проблему становить невідповідність структури раціонів формулі збалансованого харчування, головним чином, через низький рівень споживання вітамінної продукції [1, 2].

В Запорізькій області аліментарні чинники ризику пов'язані зі зниженням річного рівня споживання овочевих культур до 158,1 кг / на 1 особу, в 2016 р. цей показник становив 167,7 кг [3]. Через неповноцінність харчування в раціонах у 60-70% населення характерним є цілорічний дефіцит аскорбінової кислоти та токоферолів, у 30% – ретинолу, у 70% – фолієвої кислоти [4].

Спостерігаються закономірні відмінності у рівні споживання рослинної продукції залежно від регіонів – він знижується від південних до північно-західних областей [5].

Томат є надзвичайно цінною сільськогосподарською культурою і важливим джерелом вітамінів, амінокислот, макро- і мікроелементів, вуглеводів, ферментів, поліфенолів, каротиноїдів, фітогормонів, фітонцидів і інших біологічно активних речовин [6]. В Україні в рейтингу овочевих культур томат є лідером, його вирощують на площі близько 150 тис. га, що становить 23,8% загальної структури посівних площ.

Задача тривалого зберігання томатів – досить складна. На лежкість плодів впливає багато чинників, основними з яких є біологічні властивості сорту, які обумовлюють морфологічні, біохімічні, фізіологічні показники [7]. Лежкоздатність томатів визначають абіотичні, агротехнічні фактори, технологія збирання, ступінь стиглості плодів, спосіб зберігання тощо.

Аналіз останніх досліджень. Високоєфективним способом підвищення лежкості плодів томата є селекційно-генетичне вдосконалення за рахунок схрещування окремих сортів з мутантами *rin* (ripening-inhibitor), *nor* (non-ripening), *Nr* (Never-ripe), *ale* (alcobaca) та ін. [8].

Ці генні мутації обумовлюють часткове або повне гальмування досягання томатів, в результаті інгібування каротиноїдогенезу та перетворення пектинів [9]. В першому випадку знижується насиченість забарвлення плодів, зменшується вміст лікопену, в другому – пригнічується процес розм'якшення плодів, вони тривалий час залишаються щільними. Такі сорти з високим потенціалом лежкості характеризуються низькою інтенсивністю дихання, уповільненням синтезу етилену, блокуванням синтезу пектолітичних ферментів [10].

Практична цінність плодів гетерозисних сортів томата з генами уповільненого досягання полягає в можливості подовження тривалості зберігання в 2-3 рази, порівняно з сортами зі звичайним генотипом. Недоліком таких гібридів є низький вміст ендogenous антиоксидантів (лікопену, каротинів).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Знизити втрати свіжих томатів на етапах зберігання і реалізації можна за рахунок застосування ефективних прийомів і способів зберігання [11]. З технологічних заходів, які підвищують лежкоздатність томатів, найбільш перспективним є спосіб уповільнення досягання і старіння плодів шляхом обробки їх антиоксидантними препаратами [12, 13]. Перевагою цієї технології є відносна дешевизна і висока ефективність [14-16].

Механізм впливу антиоксидантної обробки плодів на збереженість якості гетерозисних гібридів томата з генами уповільненого досягання вивчений недостатньо. Дослідження

комплексного підходу до підвищення лежкості шляхом комбінування селекційних прийомів з обробкою плодів антиоксидантами перед зберіганням є актуальними.

Тільки за умови правильного вибору екзогенних антиоксидантів для обробки плодів перед зберіганням буде забезпечено підтримку захисних функцій антиокислювальної системи томатів. Тому метою досліджень обрано вплив антиоксидантної обробки плодів на збереженість якості гетерозисних сортів томата.

Останнім часом багато досліджень присвячується вивченню негативних наслідків холодowego стресу в плодах впродовж зберігання [17, 18]. При цьому багато уваги приділяється розробці недорогих нетоксичних високоефективних антиоксидантних композицій комплексної дії, що допомагають звести до мінімуму наслідки шкідливої дії низьких температур.

Матеріали дослідження. Предметом дослідження були зелено-зрілі плоди томатів Шедевр 1 (з геном *alc*) та Жираф (з геном *poG*). Обробку плодів антиоксидантами проводили способом оприскування на рослині в суху ясну погоду. Збирали плоди через 24 год. після обробки.

Перед закладанням на зберігання проводили інспекцію, сортування та калібрування, вибраковували нестандартні екземпляри. За контроль прийняли плоди, оброблені водою.

Томати вкладали в ящики, охолоджували та зберігали при 12-14°C, відносній вологості повітря 90±3%.

Композиції склалися з наступних компонентів: хлорофіліпт (Хл), водний екстракт кореня хрону (Хр), іонол (І) та лецитин (Л) [19, 20].

Основна частина. Дозрівання томатів характеризується комплексом паралельних біохімічних та фізіологічних перетворень, які обумовлюють формування консистенції, кольору і аромату зрілих плодів.

Генні мутації не помітні на попередньому етапі росту і розвитку плодів, їхній вплив повною мірою проявляється впродовж періоду досягання [21].

Вимоги до якості плодів томата затверджені в державному стандарті ДСТУ 3246-95 „Томати свіжі. Технічні умови”. Згідно зі стандартом плоди зеленого кольору повністю сформовані, з щільним м'якушем, без початкових ознак ослизнення.

Відповідно до результатів досліджень тривалість зберігання контрольних екземплярів сорту Шедевр 1 складала 80 діб з виходом стандартної продукції 75% (табл. 1). Екземпляри оброблені препаратом Х+І+Л, через 120 діб зберігання мали вихід стандартних плодів на рівні 68%. Максимальний рівень товарної продукції

отримано через 120 діб зберігання після обробки плодів препаратом ХР+І+Л – 76%.

Таблиця 1 – Товарна якість плодів томата після зберігання, %, $M \pm n$, $n=5$

Варіант	Термін зберігання, діб	Фактична кількість продукції, %			
		Стандартної	Нестандартної	Технічного браку	Абсолютного відходу
Шедевр 1					
Контроль	80	75,34±2,20	10,26±1,09	7,45±0,83	6,95±0,15
Х+І+Л	120	68,25±2,48	12,76±0,09	10,01±1,25	10,98±0,24
ХР+І+Л	120	76,5±2,15	14,75±1,20	5,25±0,88	3,5±0,08
Жираф					
Контроль	120	69,20±1,06	15,36±1,01	9,34±0,93	6,10±0,09
Х+І+Л	140	62,35±1,41	18,89±0,05	16,05±1,23	2,71±0,34
ХР+І+Л	160	67,42±1,15	12,11±1,14	14,25±0,82	6,22±0,12

За нашими даними тривалість зберігання контрольної групи склала 120 діб з виходом стандартної продукції 69%. У томатів, які були оброблені композицією Х+І+Л, через 140 діб зберігання вихід стандартних екземплярів дорівнював 62%. Максимальна тривалість зберігання була у групи плодів, оброблених композицією ХР+І+Л, вона становила 160 з виходом стандартної продукції 67%.

Оцінку смакових якостей плодів томата після зберігання проводили органолептичним методом при закритій дегустації за п'ятибальною шкалою.

Забарвлення плодів томата – привабливий для споживачів показник. При дозріванні плоди томата сорту Шедевр 1 міняли забарвлення від зелених тонів до бурих і рожевих. Через 80 діб зберігання контрольні плоди мали неоднорідне буро-рожеве забарвлення, розм'якшену желеподібну консистенцію, втратили пружність. Крім того, незадовільним виявився смак плодів. Це відобразилося на загальній оцінці під час органолептичного аналізу – 3 бали (табл. 2).

Органолептичний аналіз оброблених антиоксидантами плодів сорту Шедевр 1 на 120 добу зберігання показав, що томати набули неоднорідного рожевого забарвлення, розм'якшеної консистенції. Дегустаційні оцінки екземплярів варіанта Х+І+Л в середньому становили 3,0 бали, у варіанта ХР+І+Л – 3,5 бали. Невисока оцінка була обумовлена незадовільним смаком, ледве відчутним ароматом та нерівномірністю кольору.

Впродовж дозрівання основне забарвлення томатів сорту Жираф в усіх варіантах змінювалось від зеленого до жовтого, жовто-бурого та оранжевого. Оцінку забарвлення проводили за допомогою спеціалізованих шкал з відтінками.

Таблиця 2 – Органолептична оцінка плодів томата після зберігання, $M \pm n$, $n=5$

Варіант	Тривалість зберігання, діб	Дегустаційна оцінка, бал
Шедевр 1		
Контроль	80	3,0±0,35
X+I+Л	120	3,0±0,35
XP+I+Л	120	3,5±0,22
Жираф		
Контроль	120	3,0±0,21
X+I+Л	140	3,3±0,11
XP+I+Л	160	3,7±0,09

Консистенція плодів на кінець зберігання була розм'якшеною. Плоди втратили твердість, мали знижений тургор. Оцінки контрольних варіантів були на низькому рівні (3,0 бали) в основному через неоднорідність забарвлення, втрату тургору, желеподібну консистенцію, невиразний смак. Дослідні плоди відрізнялись більш насиченим однорідним оранжевим забарвленням, більш гармонічним смаком порівняно з контролем.

Висновки. Підібрано антиоксидантні препарати, обробка якими подовжує строк зберігання томатів зеленого ступеня стиглості до 120 діб (сорт Шедевр 1) і 160 діб (сорт Жираф).

Встановлено, що застосування обробки томатів антиоксидантними препаратами X+I+Л і XP+I+Л знижує швидкість дозрівання плодів, підвищує вихід товарних плодів після зберігання, порівняно з контрольним варіантом.

За результатами органолептичного аналізу оброблені препаратом XP+I+Л плоди мали кращі характеристики на кінець зберігання порівняно з контролем, їхня оцінка становила 3,5-3,7 бали.

Передзбиральна обробка томатів XP+I+Л більш ефективно гальмує перезрівання плодів впродовж зберігання, порівняно з препаратом X+I+Л.

Література:

1. Смоляр В. І. Основні тенденції в харчуванні населення України // Проблеми харчування. 2007. № 4 (17). С. 5-10.
2. Корзун В. Н., Парац А. М. Проблема мікроелементів у харчуванні населення України та шляхи її вирішення // Проблеми харчування. 2007. № 1 (14). С. 5-11.
3. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України: статистичний збірник. Київ, 2018. 59 с.
4. Григоренко О. М. Роль вітамінів у харчуванні людини // Харчова наука і технологія. № 3(12). 2010. С. 33-36.
5. Загубигорілко О. А. Аналіз споживання овочевої продукції на душу населення в Україні // Інноваційні розробки в аграрній сфері: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 30 лист. 2017 р.).

Харків: ХНТУСГ, 2017. С. 78.

6. *Кравченко В. А.* Помідор. Огірок: наука і практика: монографія. Київ: Аграрна наука, 2012. 64 с.

7. Перспективы селекции томатов и перца на лежкость и качество плодов в процессе хранения / *Д. В. Акишин* и др. // Достижения науки и техники в АПК. 2008. № 8. С. 24-26.

8. *Дворников В. П., Никулаеш М. Д.* Некоторые физиологические и биохимические особенности плодов томата различной сохраняемости // Овощебахчевые культуры и картофель: докл. Междунар. науч.-произв. конф. Тирасполь, 2005. С. 354-364.

9. *Кузёмский А. В.* Онтогенетическая разнокачественность проявления генов лёжкости томата // Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. Біологія. 2008. Вип. 1 (13). С. 53-58.

10. Role of the tomato Non-ripening mutation in regulating fruit quality elucidated using iTRAQ protein profile analysis / *X. Y. Yuan* end et. // PLoS ONE. 2016. Vol. 11(10). DOI:10.1371/journal.pone.0164335.

11. *Прісс О. П. Жукова В. Ф.* Збереженість якості плодів томата за дії екзогенних антиоксидантів // Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2010. № 4. С. 147-155.

12. *Прісс О. П. Жукова В. Ф.* Томати – як зберегти ніжний плід // Агроексперт. 2010. № 8-9. С. 39-41.

13. *Прісс О. П. Жукова В. Ф.* Збереженість томатів і перцю за обробки екстрактами кореня хрону // Харчова наука і технологія. 2015. № 2 (31). С. 68-75.

14. *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.

15. *Безменнікова В. М.* Вплив способу обробки плодів на показники їх товарної якості при зберіганні // Вісник ЖНАЕУ. 2009. № 2. С. 301-306.

16. Способ обработки фруктов и овощей на основе лецитина: пат. 2006/0228458 США: МПК А 23 D 9/04. / *Sardo A.*; заявитель и патентообладатель Chateaurenard. № 10/552460; заявл. 24.03.04; опубл. 12.10.06; U.S.Cl. №426/601.

17. *Прісс О. П.* Скорочення пошкодження холодом під час зберігання томатів з тепловою обробкою антиоксидантами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 1/6 (73). С. 38-43.

18. *Сердюк М. Є., Байберова С. С., Гапріндашвілі Н. А., Сухаренко О. І.* Вплив обробки антиоксидантними композиціями на вихід стандартної плодової продукції після холодильного зберігання // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Нові

рішення в сучасних технологіях. 2017. № 23(1245). С. 176-182.

19. Речовина для обробки плодів овочів перед зберіганням: пат. 41177 Україна: МПК А23В 7/00, А23L 3/34. № у 2008 13962; заявл. 04.12.2008; опубл. 12.05.09; Бюл. № 9.

20. Речовина для обробки ягід і плодів овочів перед зберіганням: пат. 31851 Україна: МПК А 23 В 7/14. № у 2007 13781; заявл. 10.12.07 ; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8.

21. *Martel C., Vrebalov J., Tafelmeyer P., Giovannoni J. J.* The Tomato MADS-Box transcription factor ripening inhibitor interacts with promoters involved in numerous ripening processes in a colorless nonripening-dependent manner // *Plant Physiology*. 2011. № 157(3). P. 1568-1579.

ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВ НА СОХРАННОСТЬ КАЧЕСТВА ГЕТЕРОЗИСНЫЙ СОРТА ТОМАТОВ С ГЕНАМИ ЗАМЕДЛЕННОГО СОЗРЕВАНИЯ

Жукова В. Ф., Гаприндашвили Н. А., Сухаренко Е. И.,
Коляденко В. В.

Аннотация – в статье приведены результаты анализа влияния антиоксидантной обработки на сохранность качества гетерозисных сортов томата с генами замедленного созревания. Установлено, что применение обработки томатов антиоксидантными препаратами Х+I+Л и ХР+I+Л снижает скорость созревания плодов, повышает длительность хранения на 33 и 25% соответственно, способствует улучшению органолептических показателей, повышению выхода товарных плодов после хранения по сравнению с контрольным вариантом.

EFFECT OF ANTIOXIDANT TREATMENT OF FRUITS ON THE QUALITY PRESERVATION OF TOMATO HETEROROSIS SORT WITH GENES OF LOWER REDUCTION

V. Zhukova, N. Gaprindashvili, O. Sukharenko,
V. Kolyadenko

Summary

According to WHO, one of the key determinants of public health is nutrition (20-25%). On average, 8 out of 10 cases are caused by malnutrition. A serious problem is the inconsistency of the diet structure of the balanced diet formula, mainly due to low consumption

of vitamin products.

The article presents the results of the analysis of the antioxidant treatment effect on the quality preservation of heterozygous tomato varieties with delayed genes. It was established that the treatment prolongs the storage period for green tomatoes of ripeness up to 120 days (Masterpiece 1) and 160 days (Giraffe). It was established that the application of tomato treatment with antioxidant preparations X+I+L and XR+I+L reduces the maturation rate of fruits, increases the storage time by 33% and 25%, respectively, improves organoleptic parameters, increases the yield of commercial fruit after storage compared to the control variant.

When ripe, the fruits of tomato changed the color from green to fulvous, pink and orange. According to the results of the organoleptic analysis, the evaluation of the control variants was low (3.0 points), mainly due to heterogeneity of coloration, loss of turgor, gelatinous – consistency, indistinct taste. Fruits treated with antioxidant drugs were characterized by a more saturated pink homogeneous (Masterpiece 1) or orange (Giraffe) color, more harmonious taste than control. Fruits treated with XP+I+L, had the best characteristics at the end of storage, porous with the group X+I+L, the organoleptic estimation was 3.5-3.7 points.

Pre-harvesting of tomatoes XP+I+L more efficiently inhibits over-maturing of fruits during storage, in comparison with the preparation X+I+L. The tomatoes of the Masterpiece 1, processed by XP+I+L, after 120 days of storage had a yield of standard products of 76%, fruits of the Giraffe in 160 days – 67%.

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.4 ' 23

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-276-288

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DATA COMPRESSION
IN A THREE-DIMENSIONAL SCANNING SYSTEM USING THE
RLE ALGORITHM**

Miguel Hurtado Madrid, research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy,

Gregorio Trinidad Garcia, research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy,

Jose I. Cortez, doctor, Research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy,

Jose Luis Ameca, research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy,

Fernanda Merlo Simoni, research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy,

Cesar Antonio Aguilar Rodríguez, research Laboratory in Digital Systems and Renewable Energy

Benemerita Universidad Autonoma de Puebla, Mexico

Hanna Alieksieieva, PhD (pedagogical sciences), associate professor

Berdiansk State Pedagogical University, Berdiansk, Ukraine

Natalya Sosnytska, doctor of pedagogical sciences, professor,

Head of the Department of Higher Mathematics and Physics

Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

Summary – the techniques used to compress data allow a bigger transfer of information due to the processing that is performed, by means of numerical and statistical transformations, it is possible to represent the same information in a smaller space. One of the main problems that exist in communications systems lies in the use of the channel. The current studies focus on the study of the characteristics and effects of the noise present in the channel and the disturbances generated in the transmitted information. This paper studies the efficiency of the Run Length Encoding (RLE) compression algorithm in a wired communication channel, by measuring some parameters it is possible to determine the efficiency of the use of the channel, using the RLE algorithm, a methodology is used for the study, which allows determining the efficiency of the use of the channel, prior to the use of

the compression algorithm and afterwards, in this way it is possible to determine the efficiency of the use of the channel, in this work, there is an increase in the use of the channel due to the RLE compression algorithm.

***Keywords* – RLE algorithm, data compression, entropy, BER.**

I. INTRODUCTION

In communication systems, the amount of data that is transmitted is a critical aspect to consider because as more data is sent in the shortest possible time, the communication channel is used more efficiently.

There are two ways to increase the amount of data sent in a communications system, the first one is to increase the speed of transmission and the second one is the coding of the information sent [1].

The speeds used for data transfer are limited by communication standards, which requires the use of several coding techniques that allow an increase in the rate of sending information.

Encoding is classified into two types: encryption and compression, the first is intended to provide protection to the information, however, the encryption process generates longer data frames.

The purpose of compression is to reduce the number of symbols used in the representation of information, this is done through the development of statistical processes and mathematical models applied to the information being compressed [1] [2].

There are two types of compression algorithms, lossless compression algorithms and lossy compression algorithms, the difference between these two types of compression lies in the type of processing given to the information [3] [4].

One of the main advantages of lossless compression algorithms is the integrity of the information during the coding process that does not present implementation complexity since their architectures are based on mathematical models previously demonstrated [5] [6] [7].

Lossless compression methods are classified into two types: substitutional (or dictionary-based) and methods based on mathematical transformations. In statistical methods, the coding of a symbol is based on the context in which it occurs, while substitutional methods group symbols to create an implicit type of context [8]. A compression system based on a statistical algorithm achieves better compression ratios than a substitutional compressor but the computational complexity and memory requirements for statistical algorithms are much greater than for substitutional compressors [4] [9] [10] [11].

Currently, the studies that focus on compression algorithms consider diverse applications of knowledge: medical sciences, communications systems, image processing, among others [12] [13] [14]

[15].

The present article describes the study of the efficiency of the RLE compression algorithm, through the application of a methodology will be determined the efficiency of the algorithm used in a three-dimensional scanning system of high precision.

Section II describes the RLE compression algorithm, its characteristics, advantages and limitations of use. In addition, the programming model that defines the algorithm is studied. Section III describes the methodology used in the development of the work, defining the parameters used in the methodology.

Section IV presents the development of the methodology applied to the RLE compression algorithm, describing the simulations and experiments performed. In section V the results obtained are discussed and the conclusions are established in section VI.

II. RLE COMPRESSION ALGORITHM

RLE is an algorithm that bases its operation on the search for consecutive redundant sequences of characters. When this sequence appears, it is replaced by a special character, which indicates the compression and is stored in a byte, then there is the number of characters that are compressed and stored in another byte [16].

When the dataset arrives at the receiver, it identifies the special character, which indicates that the compression has been carried out, then it receives the symbol that indicates how many characters have been compressed, allowing in this way to reconstruct the original sequence.

The data compression algorithm physically reduces any type of repeated character sequence once the characters reach a predetermined level of occurrence.

In the special case where the repeated character is null, the algorithm works in the same way as the algorithm known as Null Suppression [5].

Compression is made by scanning the source file for repeated characters, and usually requires the use of a special character to indicate that compression is in progress.

When a compression indicator character (SC) is used, it is accompanied by one of the repetitive characters on which the compression will be carried out (x) and finally, a numeric type character is added, which will indicate the frequency of appearance of such character within a string (CC) [4] [17].

The flowchart describing the behaviour of the algorithm (Fig. 1) describes the behaviour of the algorithm and is characterised by the use of dynamic memory arrangements to improve data transmission. The principle of operation lies in the study of the redundancy of the information that allows a compressed frame to be generated.

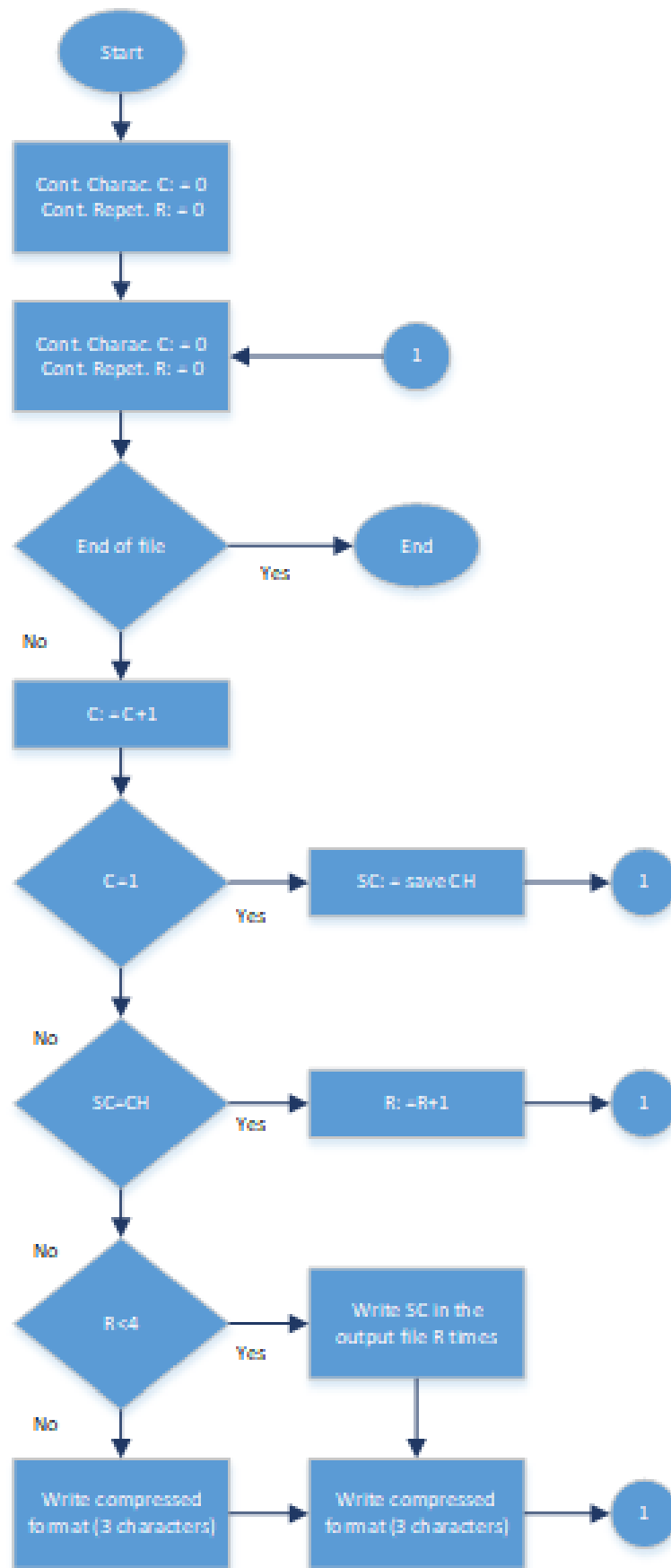


Fig. 1. Compression algorithm RLE

Because of the architecture of the algorithm, it is possible to implement it in programmable logic devices because it has iterative control structures. One of the advantages is that it does not require a previous analysis of the information because it performs processing in the data while generating the compression.

The Compression Rate (CR) is defined as:

$$CR = \frac{NCod}{NOri} \times 100\% \quad (1)$$

In the equation, $NCod$ is the total number of bits in the coded word, while $NOri$ is the total number of bits in the original word. To get an idea of the compression ratios produced by RLE, we consider a string of N characters, which needs to be compressed. It is assumed that the string contains M repetitions, with an average length of L elements each. Each of the M repeats, is replaced by 3 characters (code change, counter and data), so the size of the compressed string $(N - M)(L + M)3 = N - M)(L - 3)$, and the compression factor is:

$$\frac{N}{(N-M)(L-3)} \quad (2)$$

The implementation of the algorithm presents limitations for its implementation in digital systems with low memory resources, because of the need to use dynamic memory for the development of the compressed frame.

III. METHODOLOGY FOR THE STUDY OF EFFICIENCY

The efficiency of a compression algorithm allows obtaining information regarding the quality after the transmission process of the compressed information, in this way it is possible to quantitatively determine the advantages and disadvantages of using the compression algorithm for a certain application.

The methodology proposed for the study of the efficiency of the algorithm is divided into five parts:

- Development of simulations based on the data to be compressed.
- Measurement of the evaluation criteria of the results obtained in the simulations.
- Elaboration of hardware experiments.
- Measurement of the evaluation criteria of the results obtained in the experiments performed.
- Analysis of the results obtained for the formulation of optimization proposals.

a. COMPRESSION RATIO

The compression algorithms allow reducing the number of symbols in an information chain, such reduction is measured by mathematical relations that determine the percentage of reduction obtained by

compression, this relation is called compression relation or compression ratio, which is fundamental to quantify the percentage of reduction of information reached by the compression algorithm RLE, if this is greater than 1 it is called expansion and is produced for two reasons: the first one is explained by the fact that the algorithm was not implemented correctly, and the second one is because the type of information is not adequate for the implementation carried out. Since the data do not have the same characteristics in images, text or audio [18] [12].

The compression ratio is defined by the mathematical expression (3), which is expressed as a function of its specific scalar information [19].

$$\mathbf{Ratio} = \frac{\mathbf{number\ of\ data\ compressed}}{\mathbf{number\ uncompressed\ data}} \quad (3)$$

The compression ratio can also be called bit per bit (bpb) since it is equal to the number of bits needed to represent a symbol in a compressed string.

In image compression, the term bpp means bits per pixel. Consequently, the main purpose of data compression is to represent any data at low bit rates. The term cost per bit refers to the role played by individual bits in the compressed chain.

b. BIT ERROR RATE

Another parameter that identifies the efficiency of a compression algorithm is the Bit-Error-Rate (BER), which measures the number of bits lost in the transmission of a digital system as a result of the noise of the channel used to transmit the information. [16]

Digital transmission systems have advantages over analogue systems in terms of the ability to combine and transport data from different applications, processing power to compress information, and reduction in channel bandwidth.

One of the disadvantages is the abrupt degradation of the recovered digital information in front of the reduction of the signal power or increase of the noise and/or interference, when the received signal is contaminated with Gaussian noise, the binary error rate can be determined analytically for systems without coding, when additionally there are interferences and/or coding for the correction of errors, the process of analytical determination of the error rate is a complex problem, for this reason it is usual to resort to computational simulations for the evaluation of the performance of the transmission systems. [17]

The transmission channel is used as the means by which electrical signals are transmitted, the relationship between the use of the transmission channel and a compression algorithm is measured by entropy, and determines how effective is the channel used by an algorithm is.

c. ENTROPY

Entropy is a concept that represents the limits of coding, where data

is processed without the need to know the nature of the data. Entropy denotes the minimum number of bits per symbol needed to represent a string. It is an index that indicates the amount of information that exists in a data source. Although the calculation of general entropy cannot be analysed, in a practical way first-order entropy is usually used as an approximation. If you have a set of possible events whose probability of occurrence is $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, these probabilities are known, but that is all you know about when the event occurs.

If a measure of the quantity of choice is found, for example, $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$, you get the following properties:

1. H must be continuous in p_i .
2. If all p_i are the same, $p_i = \frac{1}{n}$, then H must be a monotonous increasing function of n . With equally probable events there is more possibility of choice, or uncertainty, when there are more possible events.

3. If the option is split into two successive choices, the original H must be the weighted sum of the individual values of H . (Fig. 2).

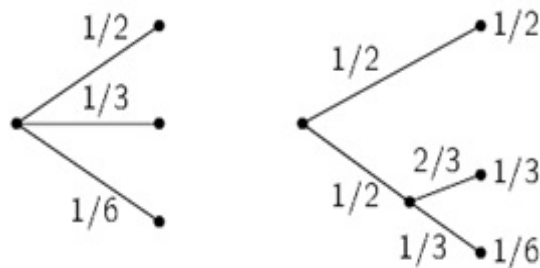


Fig. 2. Decomposition of the possibility of choosing between three options

DEVELOPMENT

The development of the methodology for the study of the efficiency of the algorithm contemplates the accomplishment of simulations and practical experiments that will provide the necessary information to determine in a quantitative way its efficiency.

In the simulations that were conducted, a numerical and statistical analysis platform was used, which integrates the tools for the development of the study considering previous data obtained from the three-dimensional reconstruction system.

The data used both for the performance of these simulations and for the practical tests was made on the basis of a sample file, the selection of the file was made by means of a statistical study that better represents the entire mean of study whose data represent the samples in a format of integers without signs with a length of 10 bits.

The arithmetic means of the files and the general average were compared, and the file was selected whose arithmetic mean approached the value of the general average, thus ensuring that the results obtained will be

valid for the whole set of samples.

Chart 1 – Numerical results obtained from the statistical analyses to the files of the scanned samples

General mean of the samples	394.6791
Size of file 4	394.3826

The simulation of the RLE compression algorithm consisted in the coding of the flow chart, see Fig.1, the tests applied to the algorithm were based on the determination of parameters such as uncompressed number of symbols, compressed number of symbols, data compression ratio, and data compression percentage, where the following results were obtained:

The compression ratio obtained for the algorithm is presented in, in order to compare the number of symbols without compression with the number of symbols after compression, it is observed that the total number of symbols after compression is less than the total number of symbols to transmit without compression by a factor of 25.8 %.

The numerical results obtained are shown in and are used in the study of the efficiency of the algorithm.

Chart 2 – Results obtained from the simulation of the RLE compression algorithm

Number of uncompressed symbols	3000 symbols
Number of compressed symbols	2226 symbols
Data compression ratio	0.7420
Data compression percentage	25.8000%
BER	0 bits

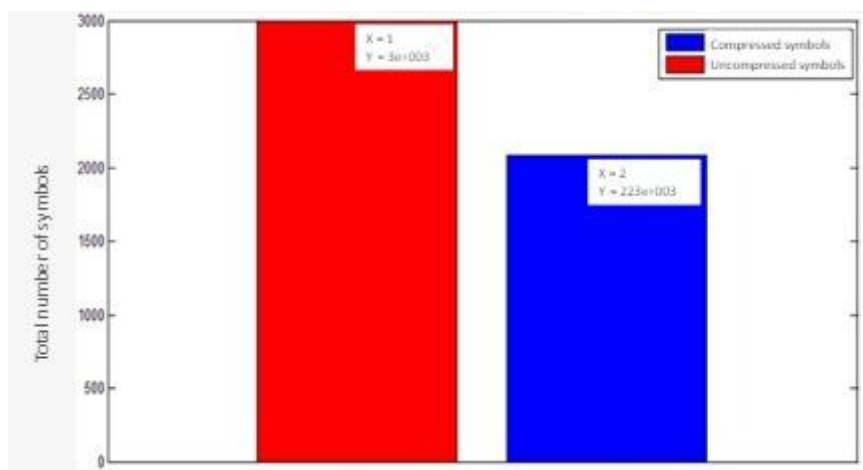


Fig. 1. Results obtained from data compression using the RLE algorithm

A.EXPERIMENTAL VALIDATION

Practical tests were performed on the algorithm using as input data

the first 1000 data from file 4.

The tests conducted on the algorithm consisted of the transmission of previously compressed data over a wire channel, the data were stored in a plain text file, and subsequent calculations were made on the information collected.

The calculations performed are the number of uncompressed symbols, the number of compressed symbols, the data compression ratio, the BER, and finally the data compression percentage, resulting in the following results:

The compression ratio obtained for the algorithm is presented in, in order to compare the number of symbols without compression with the number of symbols after compression.

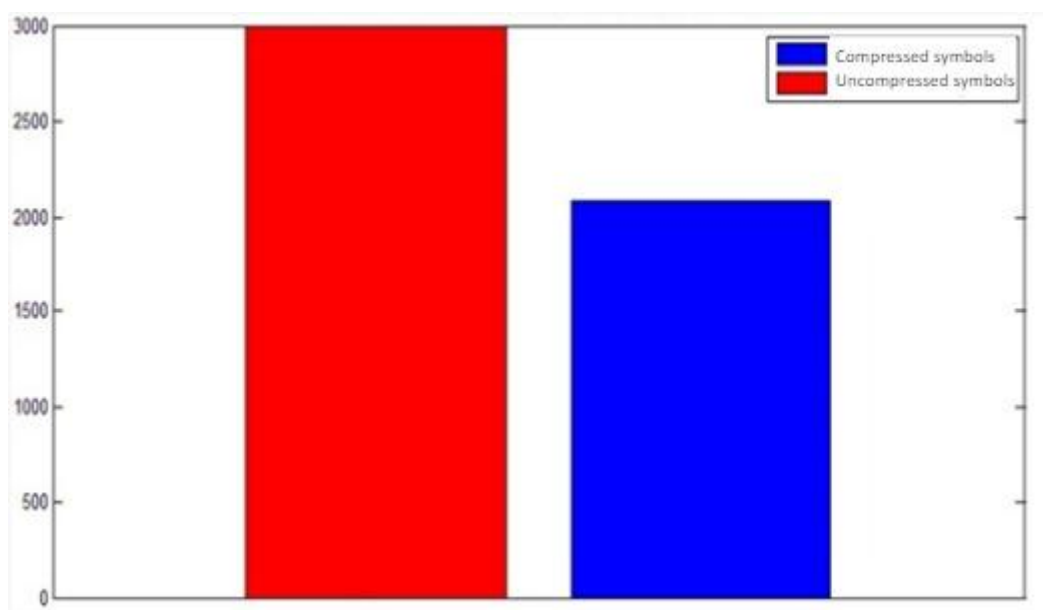


Fig. 2. Results obtained from experiments performed using the RLE algorithm

The values obtained to determine the most efficient algorithm are shown in chart 3.

Chart 3 – Numerical results obtained from the simulation of the RLE compression algorithm

Number of uncompressed symbols	3000 symbols
Number of compressed symbols	2226 symbols
Data compression ratio	0.7420
Data compression percentage	25.8000%
BER	0 bits

IV. RESULTS

In order to determine the efficiency of the algorithm, a quantitative evaluation of the results obtained in the simulations as well as in the

experiments performed was conducted.

Chart 4 – Practical results obtained

Criteria	Information	Results	
	Uncompressed	Simulation	Practical
Compression Ratio	0	0.7420	0.7410
Compression Time	15 min	30 sec	30 sec
Entropy	4.2146	4	4
BER	0 bits	0 bits	0 bits

It is observed that the compression achieved is 26%, the compression time is reduced significantly in consideration of the time needed for the transmission of uncompressed data, it is observed that the values of uncompressed entropy and post-compression entropy is reduced by 25% which translates into increased use of the channel.

Finally, in the Bit Error Rate (BER) criteria, it is observed that no error was found in the experiments performed because a speed of 9600 bits/second and using a twisted pair cable is obtained robustness in terms of Gaussian noise and 1/f noise.

According to these results, it can be concluded that the implementation of the RLE compression algorithm favours the transmission of information coming from the three-dimensional scanning system, because it reduces the transmission time of the information, the transmission channel is used efficiently and there is no loss of information due to the compression effect or the transmission channel effect.

V. CONCLUSIONS

During the development of this work, a methodology was implemented to evaluate the performance of the RLE compression algorithm, which is characterised by belonging to the lossless compression algorithms. The parameters that were considered for this purpose make it possible to determine efficiency in a quantifiable manner since the results can be measured and verified through experimentation.

The information that was considered for the development of the work comes from a mechatronic scanning system whose purpose is a three-dimensional reconstruction of solid elements, with a precision of the mechanical type, the system delivers digital samples of 10 bits, where each sample represents a pixel of an image of dimensions of 10000 pixels per side, because of this it was required the design of a specialized dictionary for the type of information.

The importance of the work lies in the proposal of a methodology that allows the study of compression algorithms at a deeper level due to the fact that not only is its design and implementation studied, but the efficiency is determined from criteria that allow evaluating its performance in more complex communications system, allowing to obtain specific

information of the use of the channel, the number of bits lost during the transmission of the information and the time required for the compression of the information.

This information can be used to improve future design techniques in digital communications systems, starting from an approach not only functional but considering aspects of resource optimization.

VI. REFERENCES

- [1] M. D., Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press, 2004.
- [2] D. A. Salomon, Data Compression Methods, New York: Springer Verlag, 2002.
- [3] S. HAYKIN, Digital Communication, John Wiley Sons, 1988.
- [4] S. Haykin, Communication Systems, McMaster University: John Wiley Sons, 2001.
- [5] B. Sklar, Digital Communications, Fundamentals and Communications, Prentice Hall, 2001.
- [6] J. Proakis and M. Salehir, Communication Systems Engineering, Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, 2002.
- [7] A. S. William and . A. Pearlman, Digital Signal Compression, Cambridge University Press, 2011.
- [8] D. Salomon, A guide to Data Compression Methods, Springer, 2002.
- [9] B. M. a. J. Abrahams, "On the redundancy of optimal binary prefix-condition codes for finite and infinite sources," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 33, no. 1, pp. 156-160, Jan. 1987.
- [10] B. M. J. E., Transmisión de Datos, ULA: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, 2005.
- [11] J. Fowler and . R. Yagel, Lossless Compression of Volume Data, Symposium on Volume Visualization, 2007.
- [12] K. S. N. M. J. D. a. P. J. M. T. Asif, "Near-Lossless Compression for Large Traffic Networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. vol. 16, no. no. 4, pp. pp. 1817-1826, Aug. 2015.
- [13] P. D. Symes, Video Compression, McGraw-Hill, 1998.
- [14] S. B., C. A. Bibyk Kenneth and M. J. Shalkhausert, Digital Compression Algorithmsf For Hdtv Transmission, The Ohio State University Columbus: Dept. of Electrical Engineering.
- [15] Y. W. W. X. a. Q. D. J. Yang, "Image Coding Using Dual-Tree Discrete Wavelet Transform," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 17, no. 9, pp. 1555-1569, Sept. 2008..

- [16] E. h. Y. a. L. Wang, "Joint Optimization of Run-Length Coding, Huffman Coding, and Quantization Table With Complete Baseline JPEG Decoder Compatibility," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 18, no. 1, pp. 63-74, 2009.
- [17] J. M. H. Madrid, *Caracterización de Algoritmos de Compresión de Datos en la Comunicación de un Sistema de Detección de Defectos*, Puebla, México, 2014.
- [18] B. J. a. W. P. Burleson, "Real-time VLSI compression for high-speed wireless local area networks," *Data Compression Conference*, pp. pp. 431-., 1995.
- [19] D. W. Jones, "Practical evaluation of a data compression algorithm," in *Data Compression Conference*, Snowbird, UT, 1991.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖАТИЯ ДАННЫХ В ТРЕХМЕРНОЙ СИСТЕМЕ СКАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RLE-АЛГОРИТМА

Мигель Хуртадо Мадрид, Грегорио Тринидад Гарсия,
Хосе Итало Кортес, Хосе Луис Амека, Фернанда Мерло Симони,
Сезар Антонио Агилар Родригес, Анна Алексеева, Наталья Сосницкая

Аннотация – методы, используемые для сжатия данных, обеспечивают большую передачу информации благодаря выполненной обработке. С помощью числовых и статистических преобразований возможно представить ту же информацию в меньшем пространстве. Одна из основных проблем, которые существуют в системах связи, заключается в использовании канала. Текущие исследования сосредоточены на изучении характеристик и эффектов шума, присутствующего в канале, и помех, создаваемых в передаваемой информации. В этой статье изучается эффективность алгоритма сжатия Run Length Encoding (RLE) в проводном канале связи. Изменяя некоторые параметры, можно определить эффективность использования канала, используя алгоритм RLE. Методология используется для исследования, которое позволяет определить эффективность использования канала, до использования алгоритма сжатия и после. Таким образом можно определить эффективность использования канала. В этой работе наблюдается увеличение в использовании канала с помощью алгоритма сжатия RLE.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТИСНЕННЯ ДАНИХ У ТРИВИМІРНІЙ СИСТЕМІ СКАНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ RLE-АЛГОРИТМУ

Мігель Хуртадо Мадрид, Грегоріо Тринідад Гарсія, Хосе Італо Кортес,
Хосе Луїс Амека, Фернанда Мерло Сімоні, Сезар Антоніо Агілар,
Ганна Алексеєва, Наталія Сосницька,

Анотація – методи, що використовуються для стиснення даних, дозволяють здійснювати більшу передачу інформації за рахунок обробки, що здійснюється за допомогою числових і статистичних перетворень. Можна представити одну і ту ж інформацію в меншому просторі. Одна з основних проблем, що існують у системах зв'язку, полягає у використанні каналу. Поточні дослідження спрямовані на вивчення характеристик і ефектів шуму, присутнього в каналі, і порушень, що генеруються в переданій інформації. В даній роботі досліджено ефективність алгоритму стиснення Run Length Encoding (RLE) у провідному каналі зв'язку. Шляхом вимірювання деяких параметрів можна визначити ефективність використання каналу, використовуючи алгоритм RLE. Дослідження, яке дозволяє визначити ефективність використання каналу дає використання алгоритму стиснення. Таким чином, можна визначити ефективність використання каналу завдяки алгоритму стиснення RLE.

На підставі проведених досліджень були зроблені наступні висновки:

Під час розробки даної роботи була впроваджена методика для оцінки працездатності алгоритму стиснення RLE, яка характеризується належністю до алгоритмів стиснення без втрат.

Інформація, яка враховувалась при розробці роботи, надходить із системи мехатронного сканування, метою якої є тривимірна реконструкція твердих елементів, з точністю механічного типу система доставляє цифрові зразки 10 біт, де кожен зразок представляє пікселя зображення розмірами 10000 пікселів на сторону, через це було потрібно розробка спеціалізованого словника для типу інформації.

Важливість роботи полягає в пропозиції методики, яка дозволяє вивчати алгоритми стиснення на більш глибокому рівні через те, що не тільки вивчається його розробка та реалізація, але ефективність визначається за критеріями, що дозволяють оцінити її ефективність у більш складну систему зв'язку, що дозволяє отримати конкретну інформацію про використання каналу, кількість біт, втрачених під час передачі інформації, і час, необхідний для стиснення інформації.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ВІДКАЧУВАННЯ РІДИНИ НА ТИСК ҐРУНТОВИХ ВОД В ЗОНІ ОПУСКНИХ КОЛОДЯЗІВ

Єремєєв В. С., д. т. н.,
Наумук О. В., к. п. н.,
Брянцев О. А., інж.,
Печерський Р. В.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*
Тел. (096) 63-96-748

Анотація – розроблено математичну модель для вивчення розподілу тиску ґрунтових вод в околиці опускних колодязів. Отримано дані про ступінь силового впливу водоносного шару на дно колодязя в залежності від швидкості відкачування рідини і фільтраційних властивостей ґрунту. Представлено, що в деяких випадках виштовхуюча сила, що діє на дно колодязя радіусом 10 м при товщині водоносного шару в 1 м, досягає 400 тонн. Збільшення товщини водоносного шару до 2-3 м і поглиблення колодязя до 10 м призведе до підвищення сили, що виштовхує в 20-25 разів. Це може призвести до деформації або спливання опускного колодязя. Інтенсивне відкачування рідини в значній мірі знижує тиск ґрунтових вод. Використання математичної моделі на стадії проектування об'єктів дозволить вжити заходів для зменшення тиску водоносних шарів при зануренні колодязів в ґрунт, а також при експлуатації підземних споруд.

Ключові слова – водоносний шар, спливання об'єкта, ґрунтові води, тиск, математична модель, опускний колодязь, підземна споруда.

Постановка проблеми. Опускний колодязь являє собою пустотілу оболонку, яка призначена для занурення в пухкий ґрунт с метою досягнення ґрунту, що володіє досить міцною несучою здатністю. Найчастіше колодязь має циліндричну форму діаметром від 10 м до 50-60 м. Подібні конструкції використовуються при будівництві підземних споруд, закладання фундаментів і створенні різного виду опор.

Присутність ґрунтових вод багато в чому визначає стратегію проведення будівельних робіт. Головна причина утворення

водоносних шарів пов'язана з інфільтраційними процесами. Рідина що просочується доходить до водотривких частин ґрунту, що є причиною формування водоносного шару, рис. 1.

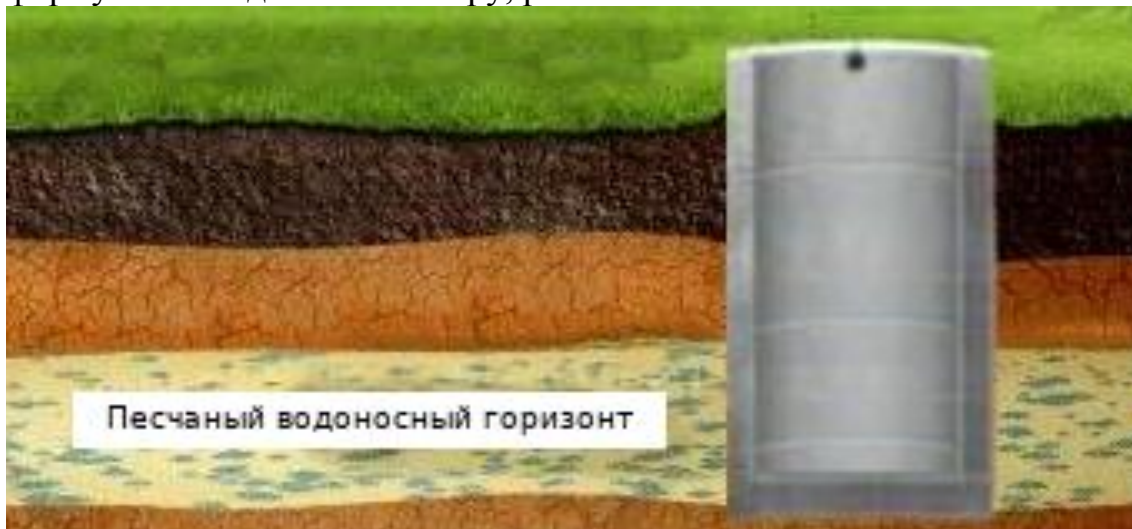


Рис. 1. Схема розташування трьох водоносних шарів, розділених водотривкими ґрунтами

Верхня поверхня водоносних слоїв має назву дзеркало ґрунтових вод. Відстань h від дзеркала до водоупора визначає потужність шару. Величина h зазвичай змінюється від 1 до 3-4 м. У деяких випадках цього виявляється достатнім для виникнення тиску вод, яке викликає руйнування або спливання об'єкта, тому прогнозування впливу ґрунтових вод на підземні споруди має велике значення. У разі занурення колодязя нижче рівня підземних вод проведення розрахунків проти спливання є обов'язковим етапом при проектуванні опускного колодязя [1, 2]. Справжня робота присвячена визначенню впливу швидкості відкачування рідини на тиск ґрунтової води в околиці опускних колодязів циліндричної форми.

Методика. Зміни тиску рідини в водоносному шарі товщиною h визначається рівнянням [3]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \Delta p(x, y, z), \quad (1)$$

де p – тиск рідини в точці з координатами x, y, z ;

t – час;

χ – коефіцієнт провідності тиску, інколи є коефіцієнтом п'єзопровідності.

У плоскорадіальному випадку, коли тиск залежить тільки від поточного радіуса r , рівняння (1) спрощується

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \left(\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right). \quad (2)$$

Припустимо, що при r , дорівнює радіусу підземної споруди R , існує постійний стік рідини дебітом D . Нехай початкові та граничні умови мають вигляд

$$p(r,0) = h\rho g, p(\infty,t) = h\rho g, D = \text{const}, t > 0, \quad (3)$$

де ρ – щільність води;

g – прискорення вільного падіння.

Рішення рівняння (2) при виконанні умови (3) отримано в роботі [4]

$$p(r,t) = h\rho g \left\{ 1 + \frac{D}{4\pi h^2 k_\phi} \left[\ln\left(\frac{r^2}{4\chi t}\right) + 0,5772 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n n!} \left(\frac{r^2}{4\chi t}\right)^n \right] \right\} \quad (4)$$

де k_ϕ – коефіцієнт фільтрації.

Формула розрахунку (4) визначає тимчасову залежність тиску рідини від характеристик водоносного шару та радіусу підземної споруди циліндричної форми. Формулу можна використовувати для вивчення розподілу тиску в зоні опускного колодязя і на його поверхні при наявності відкачування рідини з постійною швидкістю.

Результати і обговорення. Рішення (4) зручніше використовувати в безрозмірному вигляді:

$$q(a,b) = 1 + a \left[\ln b + 0,5772 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n n!} b^n \right], \quad (5)$$

де $q(a,b) = p(r,t)/h\rho g$, $a = D/4\pi h^2 k_\phi$, $b = r^2/4\chi t$.

Результати розрахунку безрозмірного тиску $q(a,b)$ по формулі (5) представлені в табл. 1. Згідно отриманим даним значення $q(a,b)$ при $b < 0,1$ і $a > 0,001$ знаходиться в межах $0,6 \div 1,0$. В даному випадку тиск ґрунтових вод оцінюється величиною $(0,6 \div 1,0) h\rho g$, що для товщини водоносного слою от 1 м до 4 м складе близько $(6 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^4)$ Паскаль. З підвищенням b до 0,1 і більше та зниженням a до 0,001 і менше тиск падає кілька порядків.

Таблиця 1 – Залежність безрозмірного тиску $q(a,b)$ від параметрів a і b . Перша строчка – параметр b , стовбець зліва – параметр a

b/a	0,35	0,05	0,007	0,001	0,00014
0,030	0,995	0,929	0,869	0,810	0,751
0,060	0,991	0,858	0,737	0,620	0,502
0,090	0,986	0,787	0,606	0,430	0,253
0,120	0,982	0,716	0,475	0,240	0,0044

З формули (5) витікає, що тиск і градієнт тиску в довільній точці з фіксованою координатою r зменшуються з часом, тому при

деякому критичному значенні $t=t_{max}$ тиск стає рівним нулю. Подальше його зниження неможливо, оскільки суперечить вимозі граничної умови (3) про сталість швидкості відкачування рідини $D = const$. Отже, формули (4) – (5) справедливі при виконанні умови:

$$t \leq t_{max}. \quad (6)$$

Для визначення t_{max} достатньо поставити вимогу, щоб тиск, обумовлений виразом (5), при $r = R$ дорівнювало нулю, тобто

$$1 + a[\ln(b_{min}) + 0,5772 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{nn!} (b_{min})^n] = 0, \quad (7)$$

де

$$b_{min} = R^2/4\chi t_{max}. \quad (8)$$

Чисельне рішення трансцендентного рівняння (7) дозволяє розрахувати b_{min} і по формулі (9) знайти $t_{max} = R^2/(4\chi b_{min})$.

При $b \ll 1$ ряд ступенів у (5) швидко збігається і вираз (5) спрощується,

$$q(a, b) = 1 + a(\ln b + 0,5772). \quad (9)$$

Якщо b достатньо мало, то для обчислення $t=t_{max}$ можна скористатися наближеним виразом (9), згідно якому нульовий тиск досягається при виконанні наступної умови $1 + a(\ln b_{min} + 0,5772) = 0$.

Рішення цього рівняння дає,

$$b_{min} = \exp(-0,5772 - \frac{1}{a}). \quad (10)$$

Розрахунки безрозмірного тиску по формулі (10) в разі параметра $b < 0,35$ практично не відрізняються від результатів, одержуваних з використанням точної формули (5). При $b = 0,35$ різницю не перевищувало 4%, тому надалі всі обчислення проводились за формулами (8)–(10).

Використання даних з (табл. 1) дозволяє розрахувати часову залежність тиску в окрузі опускного колодязя та на його поверхні $p(t)$. Виштовхуюча сила $F(t)$, яка діє на днище опускного колодязю після заповнення його бетоном, очевидно, дорівнює,

$$F(t) = \pi R^2 p(t). \quad (11)$$

Приклад тимчасової залежності тиску на поверхні колодязя і сили, що виштовхує при значеннях радіуса об'єкта 10 м, товщини водоносного шару 1 м, швидкості відкачки рідини 20 л/с, коефіцієнті фільтрації $1,05 \cdot 10^{-8}$ м/с, коефіцієнті п'єзопроводності 0,04 м²/с представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність тиску $p(t)$ на днище опускного колодязю і сили, що виштовхує $F(t)$ від часу відкачки рідини

t , час	3,0	7,1	11,2	15,4	19,5	23,6	27,8	31,9	36,0	40,6
$p(t)$, Па	12690	8490	6280	4770	3620	2690	1910	1240	650	130
$F(t)$, тонн	406	272	201	153	116	86	61	40	21	4,1

Згідно даним табл. 2 сила, що виштовхує, діюча на днище колодязю, заповненого бетоном, при обраних параметрах водоносного шару, складає близько 400 тонн. Інтенсивна відкачка рідини в значній мірі знижує тиск ґрунтових вод. Із формули (5) слід зазначити що, збільшення товщини водоносного шару до 2-3 м та поглиблення колодязя до 10 м призведе до підвищення сили, що виштовхує в 20-25 разів. Це може призвести до деформації або спливання опускного колодязя. Подібне навантаження необхідно враховувати при плануванні будівництва підземної споруди.

Висновки. Водоносні шари є однією з причин утворення сили, що виштовхує, які діють на опускні колодязі. Величина цих сил залежить від швидкості відкачування води, фільтраційних властивостей ґрунту та характеристик будівельного об'єкта. У даній роботі запропонована математична модель для прогнозування розподілу тиску ґрунтових вод в околиці опускних колодязів. Згідно з проведеними розрахунками, сили, що виштовхують, можуть досягати декількох сотень або, навіть, тисяч тонн. У деяких випадках цього достатньо для виникнення деформацій, спливання і руйнування об'єкта. Формули (4)-(11) дозволяють прогнозувати небажані ситуації ще на стадії проектування будівельних заходів і вживати заходів для зменшення негативного впливу ґрунтових вод. Зокрема, відкачка рідини призводить до істотного зниження тиску.

Література:

1. Руководство по проектированию опускных колодцев, погружаемых в тиксотропной рубашке / А. И. Байцур и др. Москва: Стройиздат, 1979. 128 с.

2. Свод правил проектирования подземных сооружений. Underground structures. Design principles. [Дата введення 2016-09-01] / В. В. Петрухин и др. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200137144> (дата звернення: 18.01.2019).

3. Подземная гидромеханика. / К. Басниев и др. 2-е изд. Москва, 2006. 488 с.

4. *Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V.* Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone // MATEC Web Conf. 2018. Vol. 196. DOI: 10.1051/matecconf/201819602025.

**РАЗРАБОТАНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ
ВОД В ОКРЕСТНОСТИ ОПУСКНЫХ КОЛОДЦЕВ**

Еремеев В. С., Наумук А. В., Брянцев А. А., Печерский Р. В.

Аннотация – разработана математическая модель для изучения распределения давления грунтовых вод в зоне опускных колодцев.

**A MATHEMATICAL MODEL HAS BEEN DEVELOPED
FOR STUDYING THE DISTRIBUTION OF GROUNDWATER
PRESSURE IN THE VICINITY OF SUBSIDENCE WELLS**

V. Yermeev, O. Naumuk, O. Bryantsev, P. Pechersky

Summary

A mathematical model has been developed for studying the distribution of groundwater pressure in the vicinity of subsidence wells. Data were obtained on the degree of power of the aquifer at the bottom of the well, depending on the pumping rate of the fluid and the filtration properties of the soil. It has been shown that in some cases the buoyant force acting on the bottom of a well with a radius of 10 m with an aquifer thickness of 1 m reaches 400 tons. Increasing the thickness of the aquifer to 2-3 m and the deepening of the well to 10 m will lead to an increase in buoyancy force by 20-25 times. This may cause deformation or the ascent of the lowering well. Intensive pumping of the liquid greatly reduces the pressure of groundwater. Using a mathematical model at the design stage of the facilities will allow taking measures to reduce the pressure of aquifer layers when diving wells into the ground, as well as during the operation of underground structures.

Based on the studies, the following conclusions were made: aquifers are one of the reasons for the ejection force that exerts on the wells. The magnitude of these forces depends on the rate of pumping of water, the filtration properties of the soil and the characteristics of the construction site. In this paper, we propose a mathematical model for predicting the distribution of groundwater pressure in the vicinity of sinkholes. According to the calculations, the ejection forces can reach several hundreds or even thousands of tons. In some cases, this is enough to cause deformation, floating and destruction of the object. Formulas (4)-(11) allow us to predict undesirable situations at the stage of designing construction measures and to take measures to reduce the negative impact of groundwater. In particular, the pumping of the fluid leads to a significant decrease in pressure.

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ МЕТОДОМ БОКСА-БЕНКІНА
У РАЗІ ТРИФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ
З ДЕКІЛЬКОМА ВИХІДНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Єремєєв В. С., д. т. н.,

Прокоф'єв Є. Г., к. п. н.,

Наумук О. В., к. п. н.,

Брянцев О. А., інж.

Мелітопольський державний педагогічний університет

ім. Б. Хмельницького

Тел. (096) 63-96-748

Анотація – розроблено програмне забезпечення для планування, обробки і проведення аналізу трифакторного експерименту з кількома вихідними параметрами. Програму складено у середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2012 мовою C ++. Вона дозволяє представити математичну модель у вигляді рівнянь регресії другого порядку, провести аналіз її адекватності, знайти довірчі інтервали коефіцієнтів регресії, визначити максимальне і мінімальне значення одного вихідного параметра при заданих умовах для інших параметрів, а також визначити значення вхідних факторів, що забезпечують оптимальні умови протікання процесу з урахуванням усіх параметрів. Програма може бути рекомендована для обробки трифакторного експерименту, який проводиться відповідно до некомпозиційного плану Бокса-Бенкіна з декількома вихідними параметрами.

Ключові слова – метод Бокса-Бенкіна, багатфакторний експеримент, оптимізація багатфакторного процесу, рівняння регресії, математична модель.

Постановка проблеми. Метод Бокса-Бенкіна широко використовується при плануванні та обробці експериментальних даних з одним вихідним параметром [1, 2]. Розглянемо випадок трифакторного експерименту, коли на основі проведення N незалежних дослідів по впливу вхідних факторів X_1, X_2, X_3 на декілька вихідних параметрів y_k потрібно знайти $v=1,2,\dots, v_{max}$ функцій відгуків у вигляді рівнянь регресії у вигляді

$$Y_v = a_{0v} + \sum_i^{i=3} a_{iv} X_i + \sum_{i<j}^{i=3} a_{ijv} X_i X_j + \sum_i^{i=3} a_{iiv} X_i^2, j=1, \dots, 3, v=1, 2, 3, \dots, v_{\max}. \quad (1)$$

Функції (1) є поліномами другого ступеня від $k = 3$ незалежних змінних X_1, X_2, X_3 з $k_I=10$ коефіцієнтами регресії. Обробка експериментальних даних полягає у визначенні невідомих коефіцієнтів $a_{0v}, a_{iv}, a_{ijv}, a_{iiv}$. У загальному випадку число незалежних дослідів має бути не менше кількості коефіцієнтів регресії k_I . Теорію оптимального планування та обробки багатофакторного експерименту закладено в працях Бокса-Уілсона [3, 4]. Ця теорія дозволяє побудувати адекватну математичну модель, яка відобразить вплив вхідних факторів на вихідний параметр, з використанням мінімальної кількості дослідів.

Розвиток теорії Бокса-Уілсона призвів до створення математичної бази для проведення досліджень і оптимізації багатофакторних процесів у багатьох додатках [5, 6]. У разі лінійних регресійних моделей, зазвичай, використовують ортогональні плани проведення експериментів, які дозволяють отримати інформацію про вплив кожного вхідного фактору на вихідний параметр незалежно один від одного. Використання цього методу планування у разі нелінійних моделей (1) вимагає проведення великої кількості експериментів, тому при переході до нелінійних моделей застосовують композиційні та некомпозиційні плани. Серед них відзначимо ротатбельні плани Бокса-Хантера [1] і некомпозиційні плани Бокса-Бенкіна [2], ефективність яких доведена на прикладі численних досліджень [4-6].

Метод Бокса-Бенкіна у порівнянні з ортогональними планами має переваги ротатбельного планування, а за витратними показниками, пов'язаними з проведенням експериментів, є більш економічним. Як правило, обидва методи застосовуються при обробці експериментів з однією вихідною характеристикою. На практиці часто зустрічається ситуація, коли процес характеризується кількома вихідними параметрами, максимальні й мінімальні величини яких досягаються в різних точках факторного простору. У зв'язку з цим виникає задача знаходження таких значень вхідних факторів, які забезпечують оптимальне протікання досліджуваного процесу. Дану роботу присвячено створенню програмного забезпечення для визначення оптимального поєднання вхідних факторів у разі трифакторного експерименту з використанням некомпозиційного плану Бокса-Бенкіна.

Математичні методи обробки експерименту з кількома вихідними параметрами. Нехай при проведенні трифакторного експерименту відповідно до методу Бокса-Бенкіна вхідні фактори X_i змінюються на відрізку $[X_{i\min}, X_{i\max}]$, $i = 1, 2, 3$. Введемо кодовані

змінні

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{X_{i\max} - X_{i0}}, X_{i0} = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}, y_{iv} = \frac{Y_i - Y_{i0v}}{Y_{i\max v} - Y_{i0v}}, Y_{i0v} = \frac{Y_{i\max v} + Y_{i\min v}}{2}. \quad (2)$$

Перехід до нових змінних за формулами (2) перетворює рівняння регресії (1) до вигляду

$$y_v = b_{0v} + \sum_i^{i=3} b_{iv} x_i + \sum_{i<j}^{i=3} b_{ijv} x_i x_j + \sum_i^{i=3} b_{iiv} x_i^2, j = 1, \dots, 3, v = 1, \dots, v_{\max}. \quad (3)$$

Матрицю планування проведення трифакторного експерименту методом Бокса-Бенкіна представлено у табл. 1 [2].

Таблиця 1 – Матриця планування трифакторного експерименту методом Бокса-Бенкіна [2]

Номер дослідження	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0
3	+1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0
4	+1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1
10	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Нехай для кожної з $N = 15$ точок плану проведення незалежних досліджень з v_{\max} вихідними параметрами відповідно до матриці, представленої в табл. 1, отримано M експериментальних даних y_{ijv} , $i = 1, 2 \dots N$, $j = 1, 2, \dots M = 3$, $v = 1, 2 \dots v_{\max}$ для кожного вихідного параметра. Середні значення y_{iv} в кожній точці плану дорівнюють

$$\bar{y}_{iv} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_{ijv}. \quad (4)$$

Матриця планування містить $n_0 = 3$ центральні точки з координатами $x_1 = x_2 = x_3 = 0$. Позначимо середні значення експериментів, які відповідають цим точкам, через $\bar{y}_{01v}, \bar{y}_{02v}, \bar{y}_{03v}$. Кожне з них обчислюється за формулою

$$\bar{y}_{0uv} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_{0ujv}, u = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Дисперсію S_{yv}^2 відтворюваності експерименту при визначенні v -ї моделі визначають різними способами. Зазвичай використовують результати $n_0 M$ досліджень у центрі плану:

$$S_{yv}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} \sum_{j=1}^M (y_{0ujv} - \bar{y}_{0uv})^2}{n_0(M-1)}. \quad (6)$$

Число ступенів свободи для дисперсії (6) дорівнює $n_0(M-1)=6$. Оскільки в кожній точці плану експеримент дублюється M разів, то дисперсію відтворюваності можна визначити з використанням усіх $NM = 45$ досліджень за формулою

$$S_{yv}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{ijv} - \bar{y}_{iv})^2}{N(M-1)}. \quad (7)$$

У цьому випадку число ступенів свободи для дисперсії відтворюваності дорівнює $f_{s2} = N(m-1)=30$.

Складемо суму квадратів відхилення значень вихідного параметра \tilde{y}_{iv} , розрахованого з використанням рівняння регресії (3), від середніх експериментальних значень вихідного фактора в кожній точці плану \bar{y}_{iv} :

$$Sum_v = \sum_{i=1}^{i=N} (\tilde{y}_{ik} - \bar{y}_{ik})^2, v = 1, 2, \dots, v_{\max}. \quad (8)$$

Після підстановки рівняння (3) до формули (8) і мінімізації величини Sum_v з використанням методу найменших квадратів можна отримати такі формули для розрахунку коефіцієнтів регресії:

$$b_{0v} = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^M y_{0uv}, b_{iv} = A \sum_{j=1}^N x_{ij} y_{jv}, v = 1, 2, \dots, v_{\max}, \quad (9)$$

$$b_{imv} = D \sum_{l=1}^N x_{il} x_{ml} y_{lv}, 0 < i < 3, i < m, 1 < m < 4, v = 1, 2, \dots, v_{\max}, \quad (10)$$

$$b_{iiv} = B \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_{jv} + C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_{jv} - \frac{1}{pn_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0uv}, v = 1, 2, \dots, v_{\max}. \quad (11)$$

де $k=3$ – число факторів;

$A=1/8, B=1/4, B_1=13/48, C=-1/16, D=1/4, p=2, n_0=3$ – константи.

Дисперсії коефіцієнтів регресії розраховуються за формулами

$$S_{b_{0v}}^2 = \frac{1}{n_0} S_{yv}^2, S_{b_{iv}}^2 = A S_{yv}^2, S_{b_{ijv}}^2 = D S_{yv}^2, S_{b_{iiv}}^2 = B_1 S_{yv}^2. \quad (12)$$

Правомочність використання уявлення математичної моделі експерименту у вигляді рівняння регресії (3) передбачає однорідність дисперсій, що характеризують точність вимірювання вихідного параметра. Виконання вимоги однородності дисперсії будуть перевірятися з використанням критерію Кохрена за формулою

$$G = S_{\max v}^2 / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{ijv} - \bar{y}_{iv})^2, \quad (13)$$

де $S_{\max v}^2$ – максимальна дисперсія дослідження в одному з N незалежних експериментів з M повторами.

Кількість ступенів свободи для чисельника і знаменника у виразі (13) дорівнює, відповідно, $M-1=2$ і $N=15$. Якщо значення G , яке визначається формулою (13), менше табличної величини, то дисперсії є однорідними. Табличне значення критерію Кохрена для $M-1=2$ і $N=15$ при 5% -му рівні значущості дорівнює 0,33 [2].

Дисперсія адекватності S_{adv}^2 кожної з v_{max} математичних моделей визначається сумою квадратів відхилень експериментальних величин \bar{y}_{iv} від значень \tilde{y}_{iv} , розрахованих з використанням рівняння регресії (3) в усіх точках плану

$$S_{adv}^2 = \frac{M \sum_{i=1}^N (\bar{y}_{iv} - \tilde{y}_{iv})^2}{f_{ad}}, \quad (14)$$

де $f_{ad} = N - k_1 - 1 = 4$ – число ступенів свободи для S_{ad}^2 ,

$k_1 = 10$ – число коефіцієнтів у рівнянні (1).

Адекватність математичної моделі (3) перевіряють за допомогою критерію Фішера

$$F = S_{ad}^2 / S_y^2. \quad (15)$$

Якщо обчислене значення критерію F менше критичної величини F_0 для прийнятого рівня значущості й відповідних числах ступенів свободи, то гіпотеза адекватності знайденої моделі приймається. Зазвичай дисперсія відтворюваності розраховується за формулою (6) з числом ступенів свободи $f_{s2} = n_0(M-1) = 6$. У цьому випадку критичне значення F_0 при 5% рівні значимості для числа ступенів свободи дисперсії адекватності $f_{ad} = N - k_1 - 1 = 4$ дорівнює 4,5 [2].

Відповідно до формул (12) середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії дорівнюють

$$s_{b_{0v}} = \sqrt{s_{b_{0v}}^2}, s_{b_{iv}} = \sqrt{s_{b_{iv}}^2}, s_{b_{ijv}} = \sqrt{s_{b_{ijv}}^2}, s_{b_{iiv}} = \sqrt{s_{b_{iiv}}^2}. \quad (16)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів b_{0v} , b_{iv} , b_{ijv} , b_{iiv} визначаються формулами

$$\Delta b_{0v} = \pm t s_{b_{0v}}, \Delta b_{iv} = \pm t s_{b_{iv}}, \Delta b_{ijv} = \pm t s_{b_{ijv}}, \Delta b_{iiv} = \pm t s_{b_{iiv}}, \quad (17)$$

де t – коефіцієнт Стюдента.

Якщо абсолютне значення коефіцієнта регресії менше довірчого інтервалу, то коефіцієнт є незначним і його можна виключити з математичної моделі (3). Табличне значення критерію Стюдента для 5%-го рівня значущості при кількості ступенів свободи $N-k_I-1=4$ дорівнює 2.78 [3]. Таким чином, знаходження математичних моделей процесу (3) для кожного з вихідних параметрів, а також визначення їх адекватності та довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії повністю вирішується з використанням формул (9)-(17). Максимальні і мінімальні значення параметрів, як правило, досягаються в різних точках факторного простору. На практиці найчастіше зустрічаються два завдання:

1. Потрібно визначити значення вхідних факторів, які забезпечують досягнення максимальної або мінімальної величини для одного з вихідних параметрів при виконанні деяких умов, що відносяться до інших параметрів.

2. Потрібно знайти значення вхідних факторів, які забезпечують оптимальне поєднання вихідних параметрів з урахуванням вкладу кожного з них до узагальнюючої функції виду

$$y = \sum_{v=1}^{v_{\max}} \alpha_v y_v = \alpha_v \left(\sum_{v=1}^{v_{\max}} b_{0v} + \sum_{v=1}^{v_{\max}} \sum_{i=1}^{i=3} b_{iv} x_i + \sum_{v=1}^{v_{\max}} \sum_{i<j}^{i=3} b_{ijv} x_i x_j + \sum_{v=1}^{v_{\max}} \sum_{i=1}^{i=3} b_{iiv} x_i^2 \right), j=1, \dots, 3, v=1, \dots, v_{\max}, \quad (18)$$

де α_v – питома вага кожної з функцій відгуку.

Розробка і опис програми. Код програми *OptimBoxBenkin* створено в середовищі розробки *Microsoft Visual Studio 2012* мовою C++. Зміст програми складається з бази вихідних даних і функцій для вирішення поставленого завдання. Вихідні дані повинні містити всю необхідну інформацію відповідно до вимог методу Бокса-Бенкіна, а саме: результати вимірювання значень кожного з v_{\max} вихідних параметрів експерименту, вид рівняння регресії й статистичні критерії, необхідні для проведення розрахунків. Основні функції забезпечують виконання таких операцій:

– розрахунок коефіцієнтів регресії математичних моделей, функції виду *coeff_regress()*;

– визначення значення рівнянь регресії в заданій точці з координатами $u1$, $u2$, $u3$, функції вигляду *regress(double u1, double*

u2, double u3);

– пошук середньоквадратичних відхилень і довірчих інтервалів для коефіцієнтів регресії при заданому рівні значущості, функції вигляду *f_disp_koeff_regress()*;

– перевірка адекватності моделей, функції вигляду *f_disp()*;

– перевірка однорідності дисперсії для кожної функції відгуку з використанням критерію Кохрена, функції вигляду *kochren()*,

– пошук максимальних і мінімальних значень для функцій відгуку, функції вигляду *max_min()*,

– визначення максимального або мінімального значення одного вихідного параметра при заданих умовах для інших параметрів, функція *optim()_if*,

– визначення оптимального рішення з використанням узагальнюючої функції (18), функція *optim()*.

При запуску програми на дисплей виводяться вихідні дані для побудови функції відгуку. Як приклад на рис. 1 представлено частину результатів дослідження впливу частоти обертання ротора вентилятора (перший вхідний фактор X_1), кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої жалюзі (другий вхідний фактор X_2) і кута нахилу середньої рухомої стінки до середньої нерухомої стінки (третій вхідний фактор X_3) на повноту виділення домішок при обробці олійної сировини соняшнику. Тут і далі використовуються результати роботи Н.А. Задосної щодо дослідження режимів очищення сировини соняшнику на пневморешітковому сепараторі [7]. Наведені дані відповідають першим чотирьом точкам матриці планування табл. 1.

**Исходные экспериментальные данные для
построения первой функции отклика: три дублирующих
опыта, средние значения в каждой точке
плана и дисперсия в каждой строке**

54.80	52.50	64.00	57.10	24.69
54.10	58.80	56.00	56.30	11.96
55.30	49.80	53.00	52.70	9.07
54.90	56.10	49.50	53.50	11.26

Рис. 1. Приклад виведення інформації про результати експерименту

Розраховані коефіцієнти регресії представлені на рис. 2.

Кoeffициенты регрессии
b0=51.07
b1=0.89 b2=-0.43 b3=-0.06
b12=0.40 b13=0.28 b23=-0.10
b11=2.63 b22=1.20 b33=-1.92

Рис. 2. Приклад інформації про обчислені коефіцієнти рівняння регресії

При необхідності на дисплей виводяться:

- результати аналізу адекватності математичних моделей;
- середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії, формула (16);
- довірчі інтервали коефіцієнтів регресії, обчислені за формулою Стьюдента (17);
- інформація про однорідність дисперсій, досліджена за допомогою критерію Кохрена, формула (13);
- максимальне або мінімальне значення одного вихідного параметра при заданих умовах для інших *параметрів*;
- значення вхідних факторів, що забезпечують оптимальні умови протікання процесу з використанням узагальнюючої функції (18).

У разі вихідних даних, відповідних рис. 1, на дисплеї з'явиться повідомлення, представлене на рис. 3.

Дисперсія воспроизводимости эксперимента равна 12.00
 Дисперсия неадекватности равна 6.27; критерий Фишера равен 0.52
 Критическое значение F для $\alpha=0.05$ равно 4.5
 Модель адекватна для 5% уровня значимости

Рис. 3. Приклад повідомлення про перевірку адекватності математичної моделі

Тестування програми. Тестування програми проводилося на прикладі модельного експерименту. Нехай вплив деяких трьох факторів X_1 , X_2 , X_3 на вихідний параметр Y_1 визначається формулою

$$Y_1 = 12.31 + 0.94X_2 - 1.23X_3 + 0.44X_1X_3 - 0.40X_2X_3 + 0.13X_3^2. \quad (19)$$

Припустимо, що експерименти проведено в точках плану, що відповідають матриці планування в табл. 1, з абсолютною точністю. Результати обробки такого експерименту за формулами (9)-(11) з використанням програми *OptimBoxBenkin* показали, що:

- коефіцієнти регресії збігаються з коефіцієнтами рівняння (19);
- обчислені середньоквадратичні відхилення за формулами (16) дорівнюють нулю.

Отримані дані свідчать про надійність побудови функції відгуку з використанням програми *OptimBoxBenkin*.

Апробація програми на прикладі трифакторного експерименту з двома вихідними параметрами. Апробація програми проводилася на прикладі результатів роботи Н. А. Задосної [7]. У цих дослідженнях отримані дві функції відгуку. Перша з них визначає вплив частоти обертання ротора вентилятора (перший вхідний фактор

Максимальное u_{\max} и минимальное u_{\min} значения критерия оптимальности в случае удельных весов для первого и второго параметров, равных соответственно 1.000 и -1.000
 $u_{\max}=1.375$ $x1_{\max}=-1.000$ $x2_{\max}=1.000$ $x3_{\max}=-0.180$
 $u_{\min}=-1.042$ $x1_{\min}=1.000$ $x2_{\min}=0.150$ $x3_{\min}=-1.000$
 ЗНАЧЕНИЕ ПЕРВОГО ПАРАМЕТРА В ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЧКЕ РАВНО 0.440
 ЗНАЧЕНИЕ ВТОРОГО ПАРАМЕТРА В ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЧКЕ РАВНО -0.935

Рис. 6. Оптимальні значення вхідних факторів для узагальнюючої функції $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = -1$

З рис. 6 видно, що максимальне значення узагальнюючої функції, яке дорівнює 1,38, досягається при $x_1=1$, $x_2=1$, $x_3=-0,18$. У цій точці факторного простору ступінь очищення зерна характеризується значенням 0,44, а втрата – значенням 0,945.

У табл. 2 представлені результати обробки для різних коефіцієнтів α_1 і α_2 .

Таблиця 2 – Вплив параметрів α_1 і α_2 на залежність вхідних факторів, при яких ступінь очищення насіння y_1 і втрата зерна y_2 відповідають оптимальним значенням

y_1	0,44	0,56	1,14	0,44	0,44
y_2	-0,94	-0,72	0,82	-0,94	-0,94
α_1	+1	+2	+3	+1	+1
α_2	-1	-1	-1	-2	-3
x_1	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	-1,00
x_2	+1,00	-1,00	-1,00	+1,00	+1,00
x_3	-0,18	-0,16	0,22	-0,16	-0,15

На прикладі математичних моделей (20) і (21) розглянемо ситуацію, коли потрібно визначити режими процесу, що забезпечують максимальне значення першого параметра при виконанні обмежуючої умови, яка відноситься до другого вихідного параметру. Результати обробки експерименту в цьому випадку представлено на рис. 7.

Максимальное значение первого параметра при выполнении условия, что второй параметр меньше 0.500 равно 0.764, достигается в точке $x_1=0.760$, $x_2=-1.000$, $x_3=0.180$

Рис. 7. Максимальні значення ступеня очищення зерна при виконанні умови для втрат

Згідно з даними, представленими на рис. 7, максимальне значення ступеня очищення зерна y_1 за умови, що його втрата y_2 не перевищує 0,5, досягається при $x_1=0,76$, $x_2=-1,00$, $x_3=0,18$. У цій точці факторного простору ступінь очищення зерна характеризується величиною $y_1=0,76$.

У табл. 3 представлені дані про залежність ступеня очищення зерна y_1 від вимог до його втрат y_2 .

Таблиця 3 – Вплив умов до втрати зерна y_2 на максимальне значення міри його очищення y_1 , що досягається в різних точках факторного простору x_1, x_2, x_3

y_2	<-0,75	<-0,50	<0,00	<0,25	<0,50	<0,75	<1,00
y_1	+0,48	+0,56	+0,56	+0,56	+0,76	+1,06	+1,14
x_1	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	+0,76	+0,95	+1,00
x_2	-0,94	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
x_3	-0,34	-0,14	-0,14	-0,14	+0,18	+0,21	+0,22

З табл. 3 видно, що в міру посилення вимоги до втрати зерна від умови $y_2 < 1,00$ до $y_2 < -0,75$ ступінь очищення знижується від $y_1 = +1,14$ до $y_1 = +0,48$. При цьому вхідний фактор x_1 (частота обертання ротора вентилятора) зменшується від $x_1 = +1,00$ до $x_1 = -1,00$, фактор x_3 (кут нахилу середньої рухомої стінки до середньої нерухомої стінки) зменшується від $x_3 = +0,22$ до $x_3 = -0,34$, а фактор x_2 (кут нахилу рухомої жалюзі до нерухомої жалюзі) залишається практично на одному рівні і дорівнює $-1,00$.

Висновки. Розроблено програмне забезпечення для планування та обробки трифакторного експерименту з кількома вихідними параметрами. Програму створено в середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2012 мовою C++. Вона дозволяє:

- побудувати математичну модель впливу вхідних факторів на вихідні параметри у вигляді рівнянь регресії (3) другого порядку;
- провести аналіз адекватності математичних моделей;
- знайти середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії;
- знайти довірчі інтервали коефіцієнтів регресії з використанням критерію Стюдента;
- перевірити однорідність дисперсій за допомогою критерію Кохрена;
- визначити максимальне та мінімальне значення одного вихідного параметра при заданих умовах для інших параметрів;
- визначити значення вхідних факторів, що забезпечують оптимальні умови протікання процесу з урахуванням усіх параметрів.

Програма пройшла тестування, опробована на прикладі аналізу результатів дисертаційних досліджень Задосної Н.А. [7] і може бути рекомендована для обробки трифакторного експерименту, який проводиться відповідно до некомпозиційного плану Бокса-Бенкіна з декількома вихідними параметрами.

Література:

1. *Рებрова И. А.* Теория планирования эксперимента: учебное пособие. Омск, 2016. 106 с.
2. *Мельников С. В., Алёшин В. Р., Роцин П. М.* Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 168 с.
3. *Єремєєв В. С., Ракович Г. М.* Теорія планування та обробки експерименту. Мелітополь, 2012. 87 с.
4. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: учебное пособие / Н. А. Спириин и др. Екатеринбург, 2015. 290 с.
5. *Сидняев Н. И.* Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. Москва: Юрайт, 2015. 496 с.
6. *Eremeev V. S., Kurbatov V. L., Gulunina E. V.* Determination of Unknown Parameters Mathematical Model Using the Experimental Design Theory // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2015. Vol. 78, № 3. P. 464-472.
7. *Задосна Н. А.* Обґрунтування параметрів та режимів роботи жалюзійного повітрярозподільника пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшника: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2019. 24 с.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
ПРОЦЕССА МЕТОДОМ БОКСА-БЕНКИНА
В СЛУЧАЕ ТРЁХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
С НЕСКОЛЬКИМИ ВЫХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Еремеев В. С., Прокофьев Е. Г., Наумук А. В., Брянцев А. А.

Аннотация – разработано программное обеспечение для планирования, обработки и проведения анализа трёхфакторного эксперимента с несколькими выходными параметрами. Программа составлена в среде разработки Microsoft Visual Studio 2012 на языке C++. Она позволяет создать математическую модель для описания влияния входных факторов на выходные параметры в виде уравнений регрессии второго порядка, провести анализ её адекватности, найти доверительные интервалы коэффициентов регрессии, определить максимальное и минимальное значения одного выходного параметра при заданных условиях для остальных параметров, а также определить значения входных факторов, обеспечивающих оптимальные условия протекания процесса с учётом всех параметров.

SOFTWARE TO OPTIMIZE THE PROCESS BY THE BOX-BENKIN METHOD IN THE CASE OF THREE-FACTOR EXPERIMENT WITH SEVERAL OUTPUT PARAMETERS

V. Yermeev, E. Prokofiev, O. Naumuk, O. Bryantsev

Summary

Software has been developed for planning, processing and analyzing a three-factor experiment with several output parameters. The program is compiled in the development environment of Microsoft Visual Studio 2012 in C ++. It allows you to create a mathematical model to describe the influence of input factors on output parameters in the form of second-order regression equations, analyze its adequacy, find confidence intervals of regression coefficients, determine the maximum and minimum values of one output parameter under given conditions for other parameters, and also determine the values input factors that provide optimal conditions for the process taking into account all parameters.

Software for planning and processing of three-factor experiment with several initial parameters is developed. The program was created in the C ++ Microsoft Visual Studio 2012 development environment. It allows you to: o construct a mathematical model of the influence of input factors on the output parameters in the form of second order regression equations (3); to conduct the adequacy analysis of mathematical models; find the standard deviations of the regression coefficients; find confidence intervals of regression coefficients using Student's t test; to check the homogeneity of the dispersions using the Cochran criterion; determine the maximum and minimum values of one output parameter under given conditions for other parameters; determine the values of the input factors that provide optimal conditions for the process taking into account all the parameters.

The program has been tested, tested on the example of the analysis of the results of dissertation research Zadosnoy N. A.

The program can be recommended for processing a three-factor experiment, which is carried out in accordance with the Box-Benkin non-compositional plan with several output parameters.

АЛГОРИТМ ДО ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕРХНЬОЇ ГРАНИЧНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НА ЛЕМІШНО-ВІДВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ

Пихтєєва І. В., к. т. н.,

Антонова Г. В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-68-62

Анотація – прийняті в даний час технології обробки сільськогосподарських культур засновані на багаторазових проходах все більш важких машинно-тракторних агрегатів. Це призводить до того, що спостерігається все більше розпорошення верхнього і нижнього ущільнення шарів ґрунту. Внаслідок цього розширюються зони вітрової, водної та механічної ерозії, знижується ефективність внесених добрив і врожайність культур. Тому сучасні тенденції [1] розвитку ґрунтообробних та посівних машин визначаються головним чином екологічними вимогами щодо захисту ґрунту від надмірної техногенного навантаження.

Зараз на світовому ринку наукомістких промислових виробів чітко спостерігаються три основні тенденції: підвищення складності виробів, підвищення конкуренції на ринку й розвиток кооперації між учасниками життєвого циклу виробу. Найбільш прогресивною та перспективною умовою удосконалення процесу проектування є створення і впровадження в практику систем автоматизованого проектування з розвиненою системою геометричного проектування. Така підготовка виробництва дає можливість підприємствам швидко реагувати на зміну попиту, у короткий термін випускати нові види продукції, швидко модернізувати продукцію, що випускається, відслідковувати життєвий цикл виробів, ефективно підвищувати якість.

Кожна технологічна задача в умова підприємства може мати велику кількість варіантів, тому спеціалісту складно впоратися з подібними обсягами робіт, і в цих умовах вирішальною передумовою до прискорення виробництва є впровадження алгоритму системи проектування.

Удосконалення технологічного процесу підприємства представлено на прикладі виготовлення лемішно-відвальної поверхні плуга з використанням алгоритму побудови просторової

кривої, а саме побудови геодезичної лінії на довільних поверхнях верхньої граничної траєкторії руху.

При проектуванні досліджено сучасні методи побудови лемішно-відвальної поверхні. У роботі пропонується використовувати метод побудови поверхні горизонтального циліндроїда і робочої поверхні по контуру в поперечно-вертикальній площині проєкцій.

Ключові слова – апроксимація, геодезична лінія, лемішно-відвальна поверхня, просторова крива, верхня гранична траєкторія руху, алгоритм побудови.

Постановка проблеми. Постає необхідність удосконалення технологічного процесу виготовлення відвала плуга культурного типу, його розрахункових параметрів при апроксимації просторової кривої.

Верхня гранична траєкторія руху пласта є геодезичною лінією лемішно – відвальної поверхні [1]. Існуючі методи побудови геодезичних ліній на довільних поверхнях [2-4] неможливо застосувати для побудови верхньої граничної траєкторії. Розглянемо алгоритм побудови верхньої граничної траєкторії руху частинки ґрунту на лемішно- відвальній поверхні. Інтерполяція дискретно заданих напрямних вихідної циліндроїдальної поверхні дозволяє з наперед заданою точністю апроксимувати цю поверхню багатогранником, тобто отримувати як завгодно багато точок, (потрібного згущення точок) що представляють шукану просторову криву.

Методика. Криволінійну відвальну поверхню апроксимуємо многогранником. Геодезичною лінією поверхні можна з певним ступенем наближення вважати ламану геодезичну лінію цього багатогранника. Оскільки геодезична лінія поверхні на розгортці – пряма то її можна прокладати виходячи з умови рівності відповідних кутів нахилу сусідніх ланок геодезичної ламаної що перетинає ребро багатогранника (рис. 1).

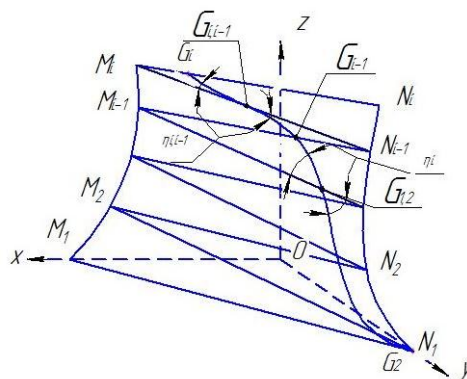


Рис. 1. Утворюючі геодезичні лінії

Визначимо напрямок, по якому необхідно здійснювати прокладку геодезичної лінії. У землеробській механіці положення площин, які апроксимують поверхню, характеризують кутами установки ε і γ (рис. 2). Початкові значення ε_1 та γ_1 визначають в просторі положення площини лемеша. В разі «нестисливого» пласта кут вступу пласта на робочу поверхню визначається зі співвідношення

$$\eta_1 = \gamma_1, \quad (1)$$

а в граничному випадку «стискання» пласта [1] – зі співвідношення

$$\operatorname{tg} \eta_1 = \operatorname{tg} \gamma_1 \cos \varepsilon_1. \quad (2)$$

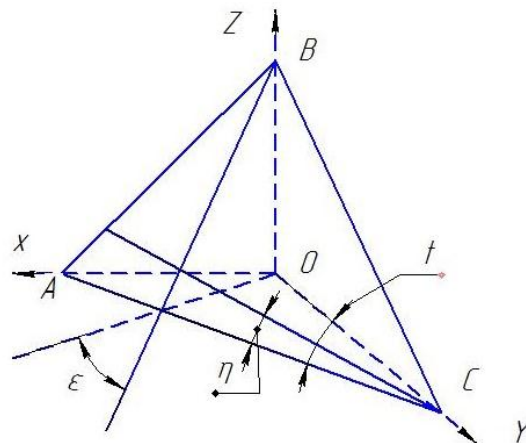


Рис. 2. Кути установки лемеша ε , γ , η

Пряма, проведена на тій межі апроксимуючого багатогранника, з якої починається рух ґрунтової частинки по відвальній поверхні, під кутом η_1 і визначає напрямок, по якому повинна бути прокладена геодезична лінія.

Апроксимуємо многогранником циліндроїдальну відвальну поверхню як найбільш часто що застосовується при виготовленні плужних корпусів. Визначником поверхні є напрямні задані дискретним рядом точок $N_1; N_2; \dots; N_{i-1}; N_i$ та $M_1; M_2; \dots; M_{i-1}; M_i$, інцидентних площинах YOZ та XOZ відповідно і горизонтальною площиною паралелізму ($Z_{N_1} = Z_{M_1}; Z_{N_2} = Z_{M_2}; \dots; Z_{N_{i-1}} = Z_{M_{i-1}}; Z_{N_i} = Z_{M_i}$).

Розглянемо елементарну ділянку поверхні $N_{i-1} M_{i-1} M_i N_i$, укладений між двома сусідніми утворюючими (рис. 1). Його можна апроксимувати найкращим чином, зробивши наближення до поверхні плоскими відсіками $N_{i-1} M_{i-1} M_i$ та $N_{i-1} M_i N_i$. Так як свій рух частка ґрунту починає з відсіку $N_{i-1} M_i N_i$ (при $i = 2$) то і побудова першої ланки геодезичної ламаної також починаємо з цього відсіку.

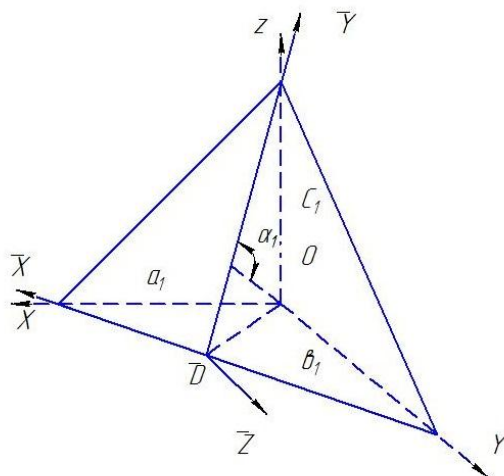


Рис. 3. Лінія найбільшого нахилу грані

Визначимо кути установки лемеша ε_1 та γ_1 . Знаходимо

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{a_1}{b_1}; \quad \cos \varepsilon_1 = \frac{d_1}{c_1}, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{X_{M_i}(Z_{N_i} - Z_{N_{i-1}})}{Y_{N_i}(Z_{M_i} - Z_{N_{i-1}})}, \quad (4)$$

$$\cos \varepsilon_1 = \frac{X_{N_i}(Y_{N_i} - Y_{N_{i-1}})}{\sqrt{Y_{N_i}^2(Z_{M_i} - Z_{N_{i-1}})^2 + X_{M_i}^2(Z_{N_i} - Z_{N_{i-1}})^2 + X_{M_i}^2(Y_{N_{i-1}} - Y_{N_i})^2}}. \quad (5)$$

Величина кута η_1 який задає положення першої ланки геодезичної ламаної на плоскому відсіку $N_{i-1} M_i N_i$ визначимо по співвідношеннях (1) або (2).

Для визначення кута, який утворює цю ланку з ребром $M_i N_i$, введемо нову систему координат, вісь $\bar{O}\bar{X}$ яка з'єднає кінці відрізків a_1 та b_1 , відсікаємо на осях OX та OY відповідно, вісь $\bar{O}\bar{Y}$ є лінією найбільшого нахилу грані, а вісь $\bar{O}\bar{Z}$ перпендикулярна площині $N_{i-1} M_i N_i$.

Початок координат нової системи маємо в точці перетину попередньої ланки геодезичної ламаної з ребром багатогранника

$$M_i N_i - G_i, i - 1 (X_{G_i, i-1}; Y_{G_i, i-1}; Z_{G_i, i-1}).$$

Тоді рівняння прямої $N_{i-1} M_i$ в системі координат $\bar{O}\bar{X} \bar{Y}\bar{Z}$

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_{N_{i-1}} - \bar{Y}_{M_i}}{\bar{X}_{N_{i-1}} - \bar{X}_{M_i}} \bar{X} - \frac{\bar{X}_{M_i} \bar{Y}_{N_{i-1}} - \bar{Y}_{M_i} \bar{X}_{N_{i-1}}}{\bar{X}_{N_i} - \bar{X}_{M_i}}; \quad Z = 0. \quad (6)$$

Рівняння прямої, проходить через $\bar{O}(0, 0, 0)$ під кутом до прямої (6), уявімо у вигляді

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_{M_i} - \bar{Y}_{N_{i-1}} \operatorname{tg} \eta_{i;i-1} (\bar{X}_{M_i} - \bar{X}_{N_{i-1}})}{\operatorname{tg} \eta_{i;i-1} (\bar{Y}_{N_{i-1}} - \bar{Y}_{M_i}) - (\bar{X}_{N_{i-1}} - \bar{X}_{M_i})} \bar{X}; \quad Z = 0. \quad (7)$$

Позначимо

$$K_1 = \frac{\bar{Y}_{M_i} - \bar{Y}_{N_{i-1}} + \operatorname{tg} \eta_{i;i-1} (\bar{X}_{M_i} - \bar{X}_{N_{i-1}})}{\operatorname{tg} \eta_{i;i-1} (\bar{Y}_{N_{i-1}} - \bar{Y}_{M_i}) - (\bar{X}_{N_{i-1}} - \bar{X}_{M_i})}.$$

Вирішивши спільно (7) і рівняння прямої, яка проходить через точки M_i N_i ,

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_{M_i} - \bar{Y}_{N_i}}{\bar{X}_{M_i} - \bar{X}_{N_i}} \bar{X} \frac{\bar{X}_{N_i} \bar{Y}_{M_i} - \bar{Y}_{N_i} \bar{X}_{M_i}}{\bar{X}_{M_i} - \bar{X}_{N_i}}, \quad Z = 0 \quad (8)$$

отримаємо координати кінця даної ланки геодезичної ламаної

$$\bar{X}_{G_i} = \frac{\bar{X}_{N_i} \bar{Y}_{M_i} - \bar{Y}_{N_i} \bar{X}_{M_i}}{\bar{Y}_{M_i} \bar{X}_{N_i} - K_1 (\bar{X}_{M_i} - \bar{X}_{N_i})}; \quad (9)$$

$$\bar{Y}_{G_i} = K_1 \bar{X}_{G_i}$$

$$\bar{Z}_{G_i} = 0.$$

Кут, який становить пряма (6) – ланка $G_{i;i-1}$ G_i з пересічним ребром багатогранника (прямої N_i M_i)

$$\operatorname{tg} \eta_i = \frac{K_1 (\bar{X}_{N_i} - \bar{X}_{M_i}) + \bar{Y}_{N_i} - \bar{Y}_{M_i}}{\bar{X}_{N_i} - \bar{X}_{M_i} + K_1 (\bar{Y}_{N_i} - \bar{Y}_{M_i})}. \quad (10)$$

Для визначення положення наступної ланки геодезичної ламаної необхідно, щоб кут, який має утворити це з ребром багатогранника N_{i-1} M_{i-1} дорівнював куту η_i (рис. 1). Алгоритм побудови ланки G_i $G_{i;i-1}$ геодезичної ламаної аналогічний запропонованому вище і відрізняється від нього лише кінцевими аналітичними виразами. Після знаходження координат точки G_{i-1} , яка належить ребру N_{i-1} M_i , знову звертаємося до алгоритму для побудови ланки геодезичної ламаної $G_{i;i-1}$ G_i і т.д.

Висновки. Таким чином алгоритм побудови геодезичної ламаної складається з двох етапів: побудови ланки $G_{i;i-1}$ G_i , інцидентної грані N_{i-1} M_i N_i та побудови ланки G_i $G_{i;i-1}$, інцидентної грані N_{i-1} M_{i-1} N_i . Обчислення припиняються після побудови ланок геодезичної ламаної на всіх елементарних гранях апроксимуючого багатогранника. Точки, координати яких обчислені за запропонованим алгоритмом, і являють собою верхню граничну траєкторію руху частинки ґрунту по відвальній поверхні.

Література:

1. Гячев Л. В. Теория лемешно-отвальной поверхности. Зерноград, 1961. 317 с.
2. Лукина З. И. Некоторые вопросы геометрии сетчатых

каркасов поверхностей переноса // Труды УДН им. П. Лумумбы. Сер. Математика. Прикладная геометрия. Москва, 1967. Т. 26, вып. 3. С. 58-65.

3. Харит К. А. Прокладывание геодезической линии на сложной поверхности вращения // Материалы II научно-методической конференции по начертательной геометрии и инженерной графике кафедр вузов УзССР. Ташкент, 1968. Вып. 60. С. 81-84.

4. Ковалев С. Н., Харченко А. И. Численный метод построения геодезической линии на регулярной поверхности // Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев, 1978. Вып. 26. С. 24-25.

5. Пыхтеева И. В., Брустинов В. М. Дискретный метод наименьших квадратов при формуванні кривини моделі // Праці ТДАТУ. Сер. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь, 2014. Вип. 4, т. 58. С. 107-112.

6. Найдих А. В., Пыхтеева И. В., Сивова А. К. Формування поверхні леза плуга за допомогою двох напрямних кривих з розрахунком згущення точкового ряду обводу методом Yopt // Сучасні проблеми геометричного моделювання. 2014. Вип. 1. С. 95-102.

АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЧНОЙ ТРАЕКТОРИИ НА ЛЕМЕШНО-ОТВАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Пыхтеева И. В., Антонова Г. В.

Аннотация – принятые в настоящее время технологии обработки сельскохозяйственных культур основаны на многократных проходах более тяжелых машинно-тракторных агрегатов. Это приводит к тому, что наблюдается все большее распыление верхнего и нижнего уплотнения слоев почвы. В результате расширяются зоны ветровой, водной и механической эрозии, снижается эффективность вносимых удобрений и урожайность культур. Поэтому современные тенденции [1] развития почвообрабатывающих и посевных машин определяются главным образом экологическими требованиями по защите почвы от чрезмерной техногенной нагрузки.

Сейчас на мировом рынке наукоемких промышленных изделий четко наблюдаются три основные тенденции: повышение сложности изделий, повышение конкуренции на рынке и развитие кооперации между участниками жизненного цикла изделия. Наиболее прогрессивным и перспективным условием совершенствования процесса проектирования является создание и внедрение в практику систем автоматизированного

проектирования с развитой системой геометрического проектирования. Такая подготовка производства дает возможность предприятиям быстро реагировать на изменение спроса, в короткий срок выпускать новые виды продукции, быстро модернизировать выпускаемую, отслеживать жизненный цикл изделий, эффективно повышать качество.

Каждая технологическая задача в условиях предприятия может иметь большое количество вариантов, поэтому специалисту сложно справиться с подобными объемами работ, и в этих условиях решающей предпосылкой к ускорению производства является внедрение алгоритма системы проектирования.

Совершенствование технологического процесса предприятия представлено на примере изготовления лемешно-отвальной поверхности плуга с использованием алгоритма построения пространственной кривой, а именно построения геодезической линии на произвольных поверхностях верхней предельной траектории движения.

При проектировании исследованы современные методы построения лемешно-отвальной поверхности. В работе предлагается использовать метод построения поверхности горизонтального цилиндрида и рабочей поверхности по контуру в поперечно-вертикальной плоскости проекций.

ALGORITHM FOR THE DETERMINATION OF THE UPPER BORDER TRAJECTORY ON THE LEMPORARY-VISIT SURFACE

I. Pyhteeva, G. Antonova

Summary

The currently adopted crop processing technologies are based on multiple passes of heavier machine-tractor units. This leads to the fact that there is an increasing dispersion of the upper and lower compaction of soil layers. As a result, areas of wind, water and mechanical erosion are expanded, the effectiveness of fertilizers and crop yields are reduced. Therefore, the current trends [1] of the development of tillage and sowing machines are determined mainly by environmental requirements to protect the soil from excessive man-made loads.

Now on the world market of high-tech industrial products three main trends are clearly observed: increasing the complexity of products, increasing competition in the market and developing

cooperation between participants in the product life cycle. The most progressive and promising condition for the improvement of the design process is the creation and implementation of computer-aided design systems with a developed system of geometric design. Such preparation of production allows enterprises to respond quickly to changes in demand, in a short time to produce new types of products, quickly modernize their products, track the product life cycle, and effectively improve quality.

Each technological task in the conditions of an enterprise can have a large number of options, so it is difficult for a specialist to cope with similar amounts of work, and in these conditions the decisive prerequisite for speeding up production is the implementation of a design system algorithm.

The improvement of the technological process of an enterprise is presented on the example of manufacturing a plow-bottom plow surface using an algorithm for constructing a spatial curve, namely the construction of a geodesic line on arbitrary surfaces of the upper limit trajectory of motion.

When designing, modern methods for constructing a plow-bottom surface have been investigated. It is proposed to use the method of constructing the surface of a horizontal cylindroid and the working surface along a contour in the transverse-vertical plane of the projections.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПРОСТОГО ОБТЯГУВАННЯ

Пихтєєва І. В., к. т. н.,

Івженко О. В., к. т. н.,

Лубко Д. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-68-62

Анотація – сучасні тенденції розвитку різних галузей промисловості стимулюють розробку високоефективних і конкурентних видів техніки і технологій, які забезпечать жорсткі вимоги до якості та експлуатаційних властивостей виробів при економії матеріальних та енергетичних ресурсів, витрати на робочу силу, зниження собівартості виробництва, що є актуальними для машинобудування.

Типовими виробами авіаційної, машинобудівної індустрії є корпусні оболонки з листових заготовок (обшивки, паливні баки різних форм і розмірів, балони для зберігання газу, камер згоряння двигунів, і т.д.). До них пред'являються високі конструкторські вимоги, які визначають технологічні можливості виробництва деталей: геометрична точність, якість поверхні, механічні властивості, рівномірна товщина, надійність в експлуатації.

При цьому умовно тонкостінними будемо вважати ті деталі, у яких асиметричні деталі з усіченою звуженою формою з відносною D висотою H : $0,5(- < 0,7$ і діаметр співвідношення – $= 1,7 - = - 2,2., D d$

Мета технолога у тому, щоб спроектувати технологічний процес з мінімальною кількістю переходів, високим коефіцієнтом використання матеріалу, точними геометричними параметрами. Крім того, виготовлена деталь має відповідати вказаним експлуатаційним характеристикам. При досягненні цього результату важливо враховувати різновтовщинність отриманих деталей у листовій штамповці. Відомо, наприклад, що різновтовщинність багатократній витяжці дорівнює – 50-100%. Це одна з основних причин для зниження формоутворення на подальших операціях.

У подальшому будемо розглядати тонкостінні штамповки, зменшення коефіцієнта матеріалу, тому що не завжди отриманий характер зміни товщини, її величина на штампованих деталях відповідає необхідним характеристикам. Щоб уникнути цього вихідну товщину заготовки обирають завищену на певну величину різновтовшинності.

Ключові слова – теорії тонких оболонок, метод збурювання, математичні моделі, процес простого обтягування, алгоритм побудови, листові штамповки.

Постановка проблеми. Для деталей, що піддаються механічній обробці, збільшується трудомісткість виготовлення та витрати матеріалу за рахунок збільшення кількості металу, яка йде у стружку.

Таким чином, з технічної та економічної точки зору дуже важливо розробляти технологічний процес таким чином, щоб він був спрямований на зміну товщини заготовки

Із аналізу науково-технічної літератури робимо висновок, що один із раціональних процесів виготовлення тонкостінних осесиметричних деталей усіченої звуженої форми є процес формовки із конічних заготовок.

З використанням методу обурення вирішується задача по визначенню технологічних параметрів процесу простого обтягування.

Методика. Аналіз більшості операцій листового штампування призводить до контактних задач теорії оболонок. Коректне рішення таких задач вже в пружній області принципово неможливо без урахування зсувних напружень і деформацій [1]. І хоча через малу частку ними іноді нехтують, проте не будь-яку малу величину можна відкинути, не спотворюючи сенсу завдання. Для дослідження впливу таких величин розроблений метод збурювання [2-3], який і використаний для дослідження математичної моделі простого обтягування.

Суть цього методу полягає в наступному: всі вхідні величини розкладаються в асимптотичні ряди в малому параметру $\delta > 0$ (тут $\delta = \frac{1}{R}$ відносна кривизна), наприклад:

$$\sigma_{ij} = \sum_{k=0}^{\infty} \sigma_{ij}^{[k]} \delta^k ; \quad (1)$$

ряди (1) підставляються в рівняння і граничні умови задачі; наводяться і покладаються рівними нулю члени при однакових ступенях δ . Таким чином, при відомому нульовому наближенні отримують рівняння, лінійні щодо наступних наближень.

Основні припущення:

1. Використовуємо методи теорії тонких оболонок (так як $\frac{S_0}{R_1} \ll$

1).

Сама оболонка утворена обертанням дуги кола радіуса R_2 (рис. 1).

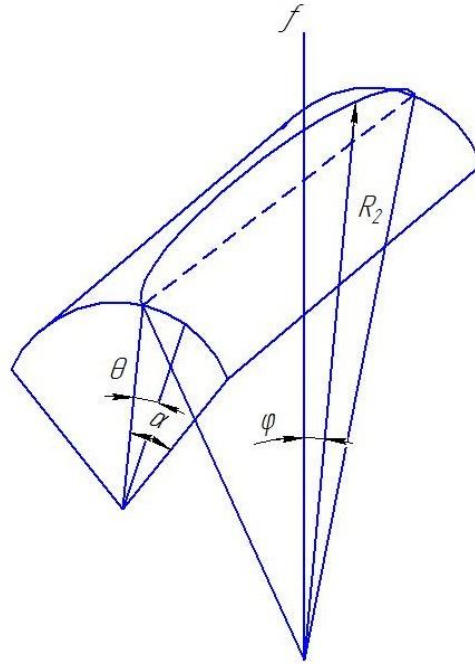


Рис. 1. Геометрія оболонки

2. Нехтуємо вигинними деформаціями в поперечному до дії сили напрямку (зважаючи близькості схеми до плоскої деформації і $R_2 \gg R_1$, де 1 – поздовжнє, а 2 – поперечний напрямки).

3. Розглядається переважно розтягнення (мінімальна деформація розтягування більше згинальної).

4. Тертя підпорядковується закону Кулона (зважаючи невеликих контактних тисків).

Прийняті припущення дозволяють розглядати кожну елементарну смужку (між близькими поперечними перерізами) як циліндричну оболонку змінної товщини в умовах плоскої деформації (рис. 2).

Запишемо вихідні рівняння:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial v} + \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} = \sigma_\theta - \sigma_\rho,$$

$$\frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial v} + 2\tau_{\rho\theta} = 0, V = \ln \frac{\rho}{R}, \quad (2)$$

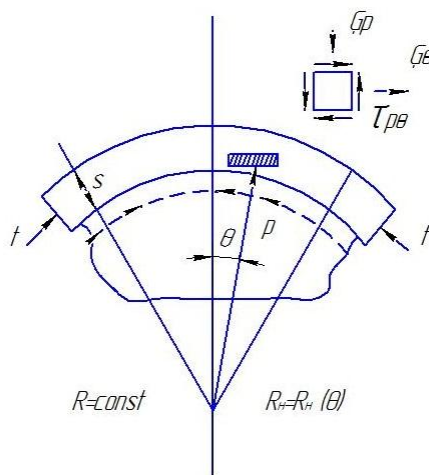


Рис. 2. Схема циліндричного вигину з розтягненням

$$\sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_\rho)^2 + 4 \left(\frac{\tau_{\rho\theta}}{K_a}\right)^2} = q_\theta^n, \quad (3)$$

$$q_\theta = \sqrt{(q_\theta)^2 + \left(\frac{e_{\rho\theta}}{K_a}\right)^2}, \quad (4)$$

$$\tau_{\rho\theta}^- = -\mu\sigma_\rho^- \text{ при } V = 0 \ (\rho = R), \quad (5)$$

$$\tau_y^+ = 0, \sigma_y^+ = 0 \text{ при } V = V_H(\theta) \ [p = p_H(\theta)]. \quad (6)$$

Тут σ_{ij} – безрозмірні напруги, віднесені до наведеного коефіцієнта, що враховує схему плоскої деформації

$$K'_0 = \frac{K_\theta}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})^{0.5(1+n)}}, \quad (7)$$

де K_θ і n – параметри степеневі апроксимації в тангенціальному напрямку, а μ_{12}, μ_{21} – коефіцієнти поперечної деформації в площині листа (перший індекс – напрямки поперечної деформації, другий – дії сили), K_a – коефіцієнт анізотропії; $\bar{\mu}$ – коефіцієнт тертя; τ_y^+, a_y^+ – напруги на похилому майданчику, дотичній до вільної поверхні $V = V_n(\theta)$.

Всі лінійні розміри віднесені до первісної товщині листа S_0 . Оцінка зсувних напруг і швидкості деформації показала, що їх величина має порядок δ і з точністю до δ^2 $\sigma_\theta - \sigma_\rho = q_\theta^n$:

$$\dot{q}_\theta = \dot{e}_\theta, q_\theta = e_\theta = q_0 + \delta q_1 + V, \quad (8)$$

де $q_k = q_k(\theta)$ – поки невідома функція.

Тут враховано, що $V < \delta$, і використовується розкладання

$$\Phi(\theta, V) = \sum_{k,m=0}^{\infty} \Phi_{k,m}(\theta) \delta^k V^m.$$

У теорії тонких оболонок [5] замість (2) застосовуються рівняння рівноваги в узагальнених напругах (одиничних зусиллях):

$$t - \frac{dt}{d\theta} = \frac{1}{\delta} \left(e^{V_H} \sigma_p^+ - \sigma_p^- + \tau_{p\theta}^+ e^{V_H} \frac{dV_H}{d\theta} \right),$$

$$\frac{dt}{d\theta} + \tau = \frac{1}{\delta} \left(\tau_{p\theta}^- - \tau_{p\theta}^+ + \sigma_\theta^+ e^{V_H} \frac{dV_H}{d\theta} \right), \quad (9)$$

де $t = \int_R^{R_H} \sigma_\theta dp$, $\tau = \int_R^{R_H} \tau_{p\theta} dp$.

Звідси видно, що хоч напруга $\sigma_p, \tau_{p\theta}$ і характеристики відхилення вільного кордону від $R_H = const$ мають порядок меншості δ , знехтувати цими величинами не можна, так як їх внесок у рівняння рівноваги (9) має порядок одиниці.

Із (2)...(6), (8) і (9) згідно стандартної методики методу збурень асимптоматичної похибки δ^2 маємо:

$$S = S^{[0]} + \delta S^{[1]},$$

$$\tau = \tau_0 + \delta \tau_1, \quad t = t_0 + \delta t_1. \quad (10)$$

Випишемо компоненти нульового і першого приближення через деформації нульового приближення q_0 :

$$S^{[0]} = e^{-q_0}, \tau_0 = 0, t_0 = e^{-q_0} q_0^n, \quad (11)$$

$$S^{[1]} = e^{-q_0} q^n,$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2} q_0^n e^{-2q_0} \left(\bar{\mu} - \frac{dq_0}{d\theta} \right),$$

$$t_1 = q_0^n e^{-q_0} \left(\frac{n}{q_0} - 1 \right) q_1 + q_0^n e^{-2q_0} \left(\frac{n}{2q_0} - 1 \right) = -t_0 (\varphi_0 + \bar{\mu}^2 \varphi_1). \quad (12)$$

Тут

$$\varphi_0 = e^{-q_e} - e^{-q_a} + 0.5n [E_i(q_0) - E_i(q_a)],$$

$$\varphi_1 = 4(e^{-q_0} - e^{-q_a})$$

$$+ 0.5n \left\{ \frac{e^{-q_0}}{n - q_0} - \frac{e^{-q_a}}{n - q_a} + E_i(q_0) - E_i(q_a) \right.$$

$$\left. + 4e^{-n} [E_i(q_a - n) - E_i(q_0 - n)] \right\},$$

де E – інтегральна показова функція [6], $q_a = q_0$ при $\theta = 0$, тобто деформація на краю оболонки.

Для q_0 має диференціальне рівняння

$$\frac{dq_0}{d\theta} = \frac{\bar{\mu} q_0}{n - q_0}. \quad (13)$$

Із (13) і (11) отримаємо:

$$e^{-q_0} q_0^n = t_a e^{\bar{\mu}(\theta - a)}, \quad (14)$$

де t_a – розтяжне зусилля на краю оболонки.

Із (13) видно, що при

$$q_0 \rightarrow n = (1 + \delta_p), \frac{dq_0}{d\theta} \rightarrow \infty,$$

тобто процес втрачає стійкість. Це відображає граничні можливості процесу. Таким чином, деформація при переході повинна бути менш рівномірною δ_p .

Це гарно ілюструється графіком (рис. 3) відображаючи зміни товщини оболонки S в залежності від кута θ . Із нього видно, що при $q_0 = n$ на краю оболонки спостерігається різке стоншування.

При вирахуванні зусилля і пружності використовують тільки нульове наближення. Безрозмірне зусилля визначається інтегруванням t_a по ширині оболонки (по куту φ) і після переходу до розмірних величин при максимально допустимій деформації δ_p .

$$P \approx \frac{\sigma_{b\theta} F_0}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})^{0,5(1+n)}}, \quad (15)$$

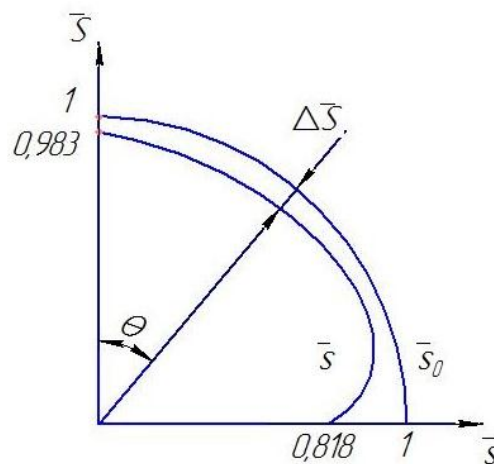


Рис. 3. Зміна товщини оболонки
($q_a = n = 0,2, \bar{\mu} = 0,2$, обтягування на 180°)

$$P \approx \frac{\sigma_{b\theta} F_0}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})^{0,5(1+n)}}, \quad (15)$$

де F_0 – площа початкового поперечного (у відношенні до розтягуючого зусилля) перетину листа.

Під час визначення пружної віддачі із-за великої поперечної жорсткості оболонки, як і у випадку згину широкого плоского листа, нехтуємо пружними змінами у поперечному напрямку. Однак, на відміну від звичайного вигинання, після обтягування лист набуває форми криволінійного тонкостінного профілю.

Із врахуванням цього за умови рівності нулю залишкового згинального моменту в подовженому напрямлені вираховуються зміни кривизни $x = x(\theta)$. Відхилення від заданої форми W визначаються за значенням x із відомого диференціального рівняння

$$\frac{W}{R_1} = \frac{E_p}{E_\theta} [1 - e^{-\bar{\mu}a} (\cos \alpha + \bar{\mu}),$$

тут $E_\theta = \frac{E_\theta}{1 - y_{12} y_{21}}$ – приведений модуль Юнга, де y_{ij} – коефіцієнти Пуассона, $E_p = K'_\theta n e_\pi^{1-n}$ – наведений пластичний модуль, де

$$e_\pi = e_{max} - \frac{f}{3R_1},$$

f – стрілка прогину (рис. 1).

Висновки. Методом збурень із врахуванням здвигових напруг і деформацій вирішена задача із визначенням технологічних параметрів процесу звичайної обтяжки: зусилля, пружіння і граничних можливостей матеріалу.

Встановлено, що процес формування відбувається в умовах плоско-деформованого стану.

Задовольнити вимоги, які пред'являються до деталей, можливо, якщо аналітично представити умови, які є функціоналом, а потім вирішити ці умови.

Функціонал потребує наближення технологічно можливої товщини до заданої товщини деталі, при умовах мінімального відхилення зі сторони між двома функціями товщини.

Розроблена методика проектування процесу формовки тонкостінної осесиметричної деталі усіченій звужувальній формі, яка дозволяє отримувати рівномірні товщини за рахунок дії активних сил тертя між пуансоном та заготовкою, які перерасподілюють напругу в меридіональному напрямленні, зменшуючи їх у зоні найменшого діаметру і збільшуючи у зоні найбільшого діаметру звужувальній формі (при співвідношенні D).

Література:

1. Рыбин Ю. И., Рудской А. И., Золотов А. М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. Москва: Наука, 2004. 644 с.
2. Ивлев Д. Д., Ершов Л. В. Метод возмущений в теории упругопластического тела. Москва: Наука, 1978. 208 с.
3. Найфэ А. Х. Методы возмущений. Москва: Мир, 1976. 455 с.
4. Определение оптимальных условий штамповки осесимметричных оболочек оживальной формы / А. А. Имшенецкий и др. Харьков: Харьк. авиац. ин-т. 2001. 120 с.
5. Гольденвейзер А. Л. Теория упругих тонких оболочек. Москва: Наука, 1976. 512 с.
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. Москва: Наука, 1967. 608 с.
7. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого

тела. Москва: Наука, 1978. 616 с.

8. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. Технология и автоматизация листовой штамповки: учебник. Москва: Из-во МГТУ им. Баумана, 2000. 480 с.

9. Пыхтеева И. В., Спиринцев В. В., Дмитриев Ю. О. Разработка функциональной схемы процесса автоматизованого проектування // Системні технології. Дніпропетровськ, 2013. Вип. 5. С. 130-136.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОСТОЙ ОБТЯЖКИ

Пыхтеева И. В., Ивженко А. В., Лубко Д. В.

Аннотация – современные тенденции развития различных отраслей промышленности стимулируют развитие высокой производительности и конкурентоспособных видов техники и технологий, которые будут обеспечивать строгие требования к качеству и эксплуатационным свойствам продуктов при экономии материальных, энергетических ресурсов и трудовых затрат, снижение себестоимости производства, что имеет важное значение для машиностроения.

Типичные продукты авиации, машиностроительной индустрии – это корпусная оболочка из листовой заготовки (обшивки, топливные баки различных форм и размеров, резервуары для хранения газа, камеры сгорания двигателей и т.д.). К ним предъявляются высокие конструктивные требования, которые определяют технологические возможности производства деталей: геометрическая точность, качество поверхности, механические свойства, равномерная толщина, надежность в эксплуатации.

При этом условно тонкостенными будем считать те части, в которых асимметричные детали с усеченной суженной формы с относительной D высотой H : $0,5$ ($\leq 0,7$ и диаметр корреляции $- = 1.7$ – 2.2 ., $D d$

Нам известно, что разнотолщинность многократной витяжки равна – 50-100%. Это одна из главных причин для уменьшения формообразования на следующих операциях.

Мы будем рассматривать формирование тонкостенной штамповки и снижение коэффициента материала, потому что не всегда результат изменения толщины, его значение для штампованных деталей отвечает необходимым критериям. Чтобы избежать этого исходную толщину заготовки выбирают

увеличенной на определенную величину разнотолщинности.

SOLUTION OF THE PROBLEM FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE PROCESS OF A SIMPLE STRETCHING FORMATION

I. Pyhteeva, O. Ivgenko, D. Lubko

Summary

Modern trends in the development of various industries stimulate the development of high productivity and competitive types of equipment and technologies that will ensure strict requirements for the quality and performance of products while saving material and energy resources and labor costs, reducing production costs, which is important for mechanical engineering.

Typical produce of the aviation and engineering industries include the casing of the plate stock (covering, fuel tanks of various shapes and sizes, gas storage tanks, engine combustion chambers, etc.). These parts have to correspond to high design requirements that determine the technological capabilities thereof: geometric accuracy, surface quality, mechanical properties, uniform thickness, reliability in operation.

In this case, those parts will be accepted as conditionally thin-walled, where asymmetric parts with a truncated constricted shape with a relative D height H being 0.5 (- <0.7 and the diameter of the correlation being = 1.7--2.2., D d

The purpose of a technologist is to develop the technological process with a minimum number of transitions, a high utilization rate of the material, and precise geometric parameters. In addition, the manufactured model must meet the specified performance characteristics. In achieving this result, it is important to take into account the thickness variation of the parts produced in sheet metal forming. We know that the thickness variation of multiple stretching is 50-100%. This is one of the main reasons for reducing shaping in the following operations.

МОДЕЛЮВАННЯ СФЕРИЧНИХ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК

Дьоміна Н. А., к. т. н.,

Морозов М. В., к. ф.-м. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-68-62

Анотація – розглянуто найпростіші моделі 3D просторових квантових точок: сферичної та циліндричної. Математичне, комп'ютерне моделювання стану електронів у кванторозмірних структурах використовується при розробці імітаційних лабораторних робіт з курсу «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій» для магістрів спеціальності «Комп'ютерні науки та інформаційні технології проектування». При комп'ютерному моделюванні застосовується математичний пакет Mathcad. Особливий інтерес представляє розгляд поведінки електрона у випадку просторових потенціальних ям зі стінками кінцевої висоти. Квантові точки (КТ – Quantum Dots) використовують в елементній базі наноелектроніки, в першу чергу при створенні дисплеїв четвертого покоління (AMOLED-технологія), які приходять на зміну рідинно кристалічним дисплеям. Крім того, перспективним є створення лазерів на КТ.

Властивості квантових точок (дискретний спектр значень власної енергії) залежить від їх форми, розмірів та матеріалу (величини ефективної маси носіїв заряду). Важливу роль грають також граничні умови – вид потенціалу, який обмежує рух електронів. Найпростіша модель КТ є тривимірна нескінченно глибока просторова потенціальна яма. Але реальні квантові точки (як з оболонкою, так і без) мають потенціальні стінки кінцевої висоти, тому моделювання електронної структури та визначення хвильової функції і щільності ймовірності у цьому випадку є актуальною задачею.

Розглядається розв'язування рівняння Шредінгера для хвильової функції стаціонарних станів S-електронів у сферичній та циліндричній системах координат. Отримані у першому наближенні власні значення енергії, вид хвильової функції та щільності ймовірності знаходження електрона в заданій області

простору.

Ключові слова – сферична і циліндрична квантові точки, комп'ютерне моделювання, імітаційні лабораторні роботи.

Постановка проблеми. Квантові точки знаходять все більш широке застосування у квантовій наноелектроніці. Тому розборка математичних, комп'ютерних моделей кванторозмірних структур є актуальною як для організації імітаційних лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій», так і для подальшого застосування при проектуванні гетероструктур наноелектроніки, у тому числі лазерів на квантових точках

Аналіз останніх досліджень. Поведінка електронів (хвильові функції та енергетичні спектри) в сферичних та циліндричних квантових точках представлені в роботах [2, 3].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Дослідити комп'ютерні, математичні моделі тривимірних потенціальних ям зі стінками кінцевої висоти, визначити хвильові функції, щільність ймовірності та спектр власних значень енергії для забезпечення імітаційних, віртуальних лабораторних робіт з курсу «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій».

Основна частина. 1. Розглянемо найпростішу модель сферичної квантової точки радіуса R_1 (рис. 1, в). Це аналог просторової сферичної потенціальної ями зі стінкою кінцевої висоти ($U_0 > E$), потенціальна енергія U_0 , якої більша повної енергії електрона. У першому наближенні потенціальна енергія електрона дорівнює (рис. 1, б):

$$U(r) \equiv \begin{cases} 0, & \text{якщо } r \leq R_1 \\ U_0, & \text{якщо } r > R_1 \end{cases} \quad (1)$$

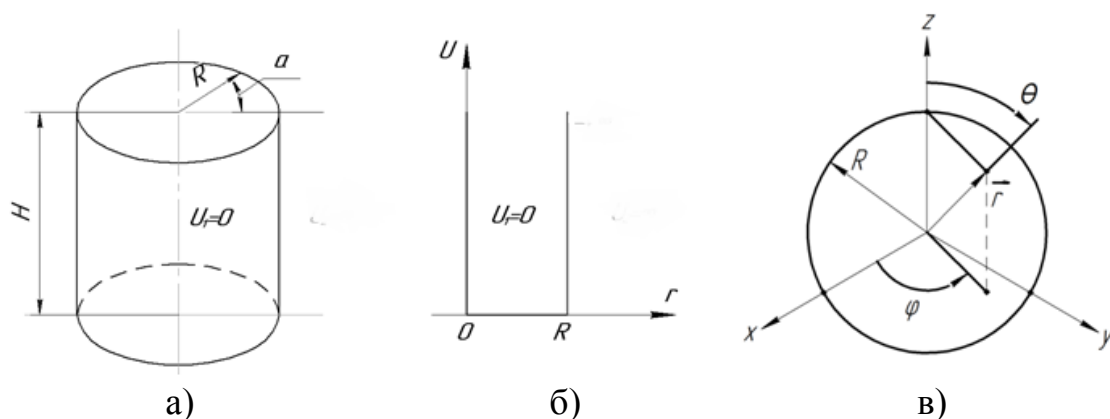


Рис. 1. а) циліндрична квантова точка (quantum wire); б) потенціальна енергія електрона; в) сферична квантова точка (quantum dot)

Тоді рівняння Шредінгера для стаціонарних S -станів електрона у сферичній системі координат має вигляд:

$$\text{для області 1: } \varphi_1'' + \frac{2}{r} \varphi_1' + k_1^2 \cdot \varphi_1(r) = 0, \quad \text{при } 0 \leq r \leq R_1 \quad (2)$$

$$\text{для області 2: } \varphi_2'' + \frac{2}{r} \varphi_2' + k_2^2 \cdot \varphi_2(r) = 0, \quad \text{при } r > R_1, \quad (3)$$

де $k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$; $k_2 = \frac{\sqrt{2m(E-U_0)}}{\hbar}$ – хвильові числа.

Диференціальне рівняння (2) є одним з різновидів рівнянь Бесселя та має наступний розв'язок:

$$\varphi_1(r) = \frac{A}{\sqrt{r}} \cdot J_{1/2}(k_1 \cdot r) = \frac{A_1}{r} \sin(k_1 \cdot r), \quad (4)$$

де $J_{1/2}(k_1 \cdot r) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot k_1 \cdot r}} \cdot \sin(k_1 \cdot r)$ – функція Бесселя першого роду порядку $1/2$.

Якщо $k = ik_2 = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$, то розв'язок диференціального рівняння (3) має вигляд:

$$\varphi_2(r) = \frac{B \cdot e^{-k \cdot r}}{r}. \quad (5)$$

Використовуємо граничні умови при $r = R_1$:

$$\begin{cases} \varphi_1(R_1) = \frac{A_1}{R_1} \sin(k_1 \cdot R_1) = \varphi_2(R_1) = \frac{B \cdot e^{-kR_1}}{R_1} \\ \varphi_1'(R_1) = -\frac{A_1}{R_1^2} \sin(k_1 \cdot R_1) + \frac{A_1 \cdot k_1}{R_1} \cdot \cos(k_1 \cdot R_1) = \varphi_2'(R_1) = -\frac{B}{R_1^2} e^{-k \cdot R_1} - \frac{B \cdot k}{R_1} \cdot e^{-k \cdot R_1} \end{cases}$$

Тоді,

$$B = A_1 \cdot \sin(k_1 \cdot R_1) \cdot e^{k \cdot R_1}. \quad (6)$$

Отримаємо наступне трансцендентне рівняння для власних значень енергії електрона E_n :

$$k_1 \cdot \cos(k_1 \cdot R_1) = -k \cdot \sin(k_1 \cdot R_1) \quad (7)$$

$$\text{tg}(k_1 \cdot R_1 + n\pi) = -\frac{k_1}{k}, \quad (8)$$

де $n = \pm 1, 2, 3 \dots$ – квантові числа.

Розв'язки рівняння (8) можна знайти графічним або наближеним чисельним методом. У випадку, коли $U_0 \gg E$ у першому наближенні $-\frac{k_1}{k} \cong -\text{tg} \frac{k_1}{k}$ та

$$k_1 \cdot R_1 + \frac{k_1}{k} = n\pi. \quad (9)$$

Тоді власні дискретні значення енергії для електрона у сферичній квантовій точці дорівнюють:

$$E_n = \frac{\pi^2}{\left(\frac{\sqrt{2m} \cdot R_1}{\hbar} + \frac{1}{\sqrt{U_0}}\right)^2} \cdot n^2. \quad (10)$$

Якщо висота стінки потенціальної квантової ями нескінченна ($U_0 \rightarrow \infty$) отримаємо:

$$E_{n,1}^* = \frac{\hbar^2}{8mR_1^2} \cdot n^2. \quad (11)$$

Для визначення амплітуди A_1 хвильової функції $\varphi_1(r)$ використовуємо умову нормування:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty |\psi_1(r)|^2 \cdot dV &= \int_0^{R_1} 4\pi r^2 \cdot |\varphi_1(r)|^2 \cdot dr + \int_{R_1}^\infty 4\pi r^2 \cdot |\varphi_2(r)|^2 \cdot dr = \\ &= \int_0^{R_1} 4\pi r^2 \cdot \frac{A_1^2}{r^2} \cdot \sin^2(k_1 \cdot r) \cdot dr + \int_{R_1}^\infty 4\pi r^2 \cdot \frac{A_1^2 \cdot e^{2k \cdot R_1} \cdot \sin^2(k_1 R_1)}{r^2} \cdot e^{-2k \cdot r} dr = \\ &= 2\pi A_1^2 \cdot \left(R_1 + \frac{\sin^2(k_1 \cdot R_1)}{k} - \frac{\sin(2k_1 \cdot R_1)}{2k_1} \right) = 1 \end{aligned} \quad (13)$$

Звідки:

$$A_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_1 + \frac{\sin^2(k_1 \cdot R_1)}{k} - \frac{\sin(2k_1 \cdot R_1)}{2k_1} \right)}}. \quad (14)$$

Застосування математичного пакету *Mathcad* дозволяє визначити амплітуду A_1 хвильової функції $\psi_1(r) = \begin{cases} \varphi_1(r), & 0 \leq r \leq R_1 \\ \varphi_2(r), & r > R_1 \end{cases}$, власні значення енергії E_n та $\rho_1(r)$ щільності ймовірності

знаходження електрона у заданій області простору. На рис.2 представлені графіки залежності хвильової функції $\psi_1(r)$ та щільності ймовірності $\rho_1(r) = |\psi_1(r)|^2$ для квантового стану $n = 2$.

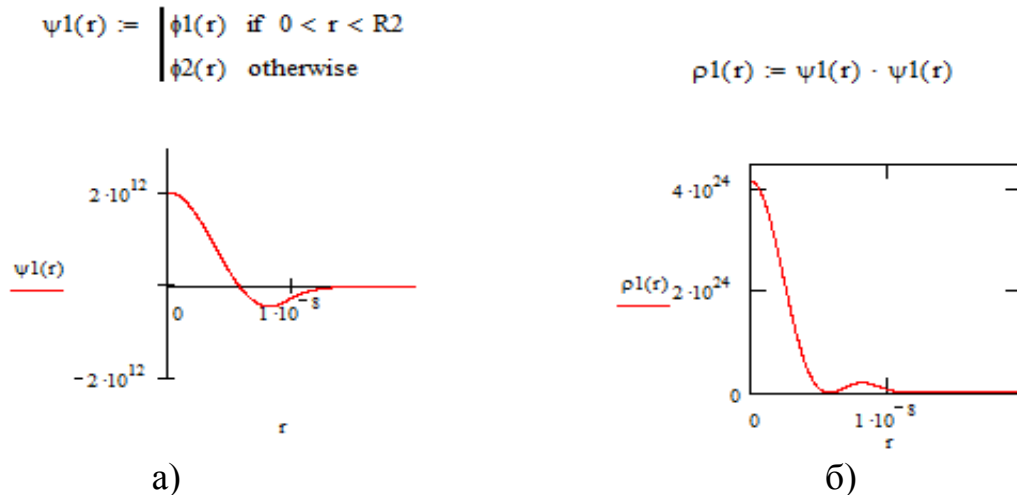


Рис. 2. Моделювання стану електрона у сферичній квантовій точці: а) графік $\psi_1(r)$ хвильової функції для $n = 2$; б) графік $\rho_1(r)$ для $n = 2$

Розглянемо стан електронів у циліндричній квантовій точці радіуса R_2 та висотою H . У першому наближенні $R \ll H$ потенціальна енергія електрона дорівнює (рис. 1, б):

$$U(r) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 < r \leq R_2 \\ U_0, & \text{якщо } r > R_2 \end{cases}. \quad (15)$$

Використовуємо циліндричну систему координат. Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів хвильової функції S -електронів має вигляд для області I:

$$\varphi_3'' + \frac{1}{r} \cdot \varphi_3' + k_3^2 \cdot \varphi_3(r) = 0, \quad \text{при } 0 \leq r \leq R_2, \quad (16)$$

де $k_3 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ – хвильове число.

Для області II:

$$\varphi_4'' + \frac{1}{r} \cdot \varphi_4' - k_4^2 \cdot \varphi_4(r) = 0, \quad \text{при } r > R_2, \quad (17)$$

де $k_4 = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$ – хвильове число.

Розв'язок диференціального рівняння (16) має вигляд :

$$\varphi_3(r) = C \cdot J_0(k_3 \cdot r), \quad (18)$$

де $J_0(k_3 \cdot r)$ – функція Бесселя нульового порядку (циліндрична функція).

Диференціальне рівняння (17) є модифікованим рівнянням Бесселя та має наступний розв'язок:

$$\varphi_4(r) = D \cdot J_0(ik_4 \cdot r) = D \cdot K_0(k_4 \cdot r), \quad (19)$$

де $K_0(k_4 \cdot r)$ – функція Макдональда (модифікована функція Бесселя другого роду від уявного аргументу).

У випадку, коли $U_0 \gg E$ ($U_0 \rightarrow \infty$) хвильова функція $\varphi_4(r) \rightarrow 0$. Використовуємо граничні умови та визначаємо власні значення енергії електрона:

$$\psi_2(R) = C_1 \cdot J_0(k_5 \cdot R_2) = 0. \quad (20)$$

Тому: $k_{5,n} \cdot R_2 = b_n$,

де b_n – нулі функції Бесселя $J_0(x)$ нульового порядку першого роду наведені в таблиці 1 [4]:

Таблиця 1

n	1	2	3	4	5
b_n	2,405	5,52	8,654	11,791	14,931

Знаходимо власні значення енергії $E_{2,n}$ електрона:

$$E_{2,n} = \frac{\hbar^2 \cdot b_n^2}{2m \cdot R_2^2} \quad (21)$$

Вид хвильової функції $\psi_2(r)$ для випадку стінки нескінченної висоти представлено на рис. 3(а).

Амплітуду C_1 хвильової функції $\psi_2(r)$ визначаємо з умови нормування:

$$\int |\psi_2(r)|^2 \cdot dV = \int_0^{R_2} 2\pi r \cdot H \cdot C_1^2 \cdot J_0^2(k_5 \cdot r) \cdot dr = \pi \cdot C_1^2 \cdot H \cdot R_2^2 \cdot J_1^2(k_5 \cdot R_2) = 1 \quad (22)$$

Тому

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi H \cdot R_2 \cdot J_1(k_5 \cdot R_2)}}, \quad (23)$$

де $J_1(k_5 \cdot R_2) = J_1(b_n)$ – значення функції Бесселя 1-го порядку при $x = b_n$

Застосування математичного пакету *Mathcad* та комп'ютерне моделювання дозволяють визначити амплітуду C_n хвильової функції $\psi_{2,n}(r)$, хвильові числа $k_{2,n}$, власні дискретні значення енергії $E_{2,n}$ та

побудувати графіки $\psi_{2,n}(r)$ власної хвильової функції та щільності ймовірності $\rho_{2,n}(r) = |\psi_{2,n}(r)|^2$ для різних значень квантового числа n .

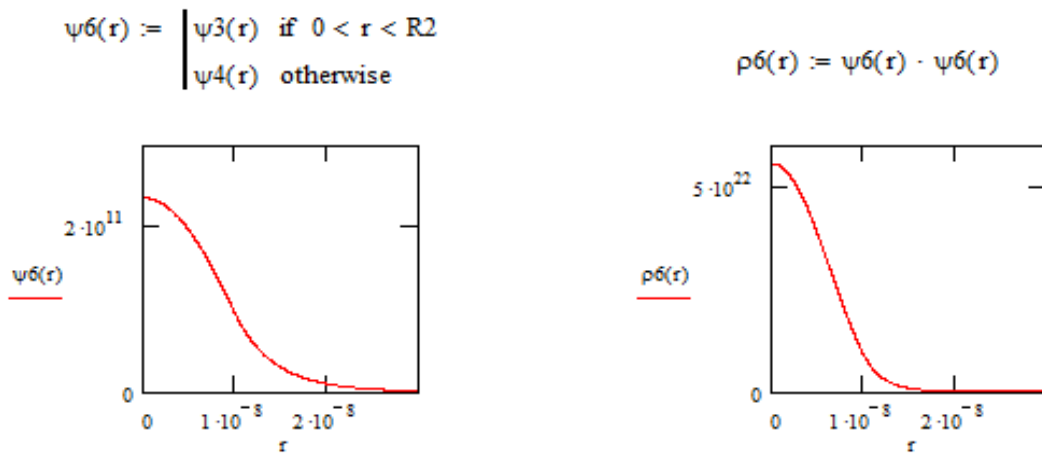


Рис. 3. Моделювання стану електрона у циліндричній квантовій точці зі стінками кінцевої висоти

У випадку циліндричної квантової точки зі стінками кінцевої висоти U_0 власні значення енергії $E_{3,n}$ можна визначити, використовуючи граничні умови, шляхом послідовного наближення при початковій енергії:

$$E_{3,n} = 0,5 \cdot E_{2,n} = 0,5 \cdot \frac{\hbar^2 \cdot b_n^2}{2mR_2^2}, \tag{24}$$

тоді:

$$\begin{cases} \varphi_{3,n}(R_2) = C \cdot J_0(k_{3,n} \cdot R_2) = \varphi_{4,n}(R) = D \cdot K_0(k_{4,n} \cdot R_2) \\ \varphi'_{3,n}(R_2) = \varphi'_{4,n}(R_2) = -C \cdot k_{3,n} \cdot J_1(k_3 \cdot R_2) = -D \cdot k_4 \cdot K_1(k_4 \cdot R_2) \end{cases}, \tag{25}$$

тоді:

$$D = C \cdot \frac{J_0(k_3 \cdot R_2)}{K_0(k_4 \cdot R_2)} \tag{26}$$

$$\frac{k_3}{k_4} = \frac{J_0(k_3 \cdot R_2)}{J_1(k_3 \cdot R_2)} \cdot \frac{K_1(k_4 \cdot R_2)}{K_0(k_4 \cdot R_2)} \tag{27}$$

$$E_{2,1} = U_0 \cdot \frac{J_0^2(k_3 \cdot R_2) \cdot K_1^2(k_4 \cdot R_2)}{J_0^2(k_3 \cdot R_2) \cdot K_1^2(k_4 \cdot R_2) + K_0^2(k_4 \cdot R_2) \cdot J_1^2(k_3 \cdot R_2)} \tag{28}$$

Визначаємо амплітуду C хвильової функції $\varphi_3(r)$, використовуючи умову нормування:

$$\int |\psi_3(r)|^2 \cdot dV = \int_0^{R_2} 2\pi \cdot r \cdot H \cdot C^2 \cdot J_0^2(k_3 \cdot r) \cdot dr + \int_{R_2}^{\infty} 2\pi \cdot r \cdot H \cdot C^2 \cdot \frac{J_0^2(k_3 \cdot R_2)}{K_0^2(k_4 \cdot R_2)} \cdot K_0^2(k_4 \cdot r) \cdot dr =$$

$$= \pi \cdot C^2 \cdot H \cdot R_2^2 \cdot \left[J_1^2(k_3 \cdot R_2) + \frac{J_0^2(k_3 \cdot R_2) \cdot K_1^2(k_4 \cdot R_2)}{K_0^2(k_4 \cdot R_2)} \right] = 1 \quad (29)$$

$$C = \frac{K_0(k_4 \cdot R_2)}{\sqrt{\pi \cdot H \cdot R_2 \sqrt{J_0^2(k_3 \cdot R_2) \cdot K_1^2(k_4 \cdot R_2) + J_1^2(k_3 \cdot R_2) \cdot K_0^2(k_4 \cdot R_2)}}} \quad (30)$$

На рис. 3 представлено графік хвильової функції:

$$\psi_{3,1}(r) = \begin{cases} \varphi_{3,1} = C \cdot J_0(k_3 \cdot r), & \text{якщо } 0 \leq r \leq R_2 \\ \varphi_{4,1} = D \cdot K_0(k_4 \cdot r), & \text{якщо } r > R_2 \end{cases}$$

Стан електронів, власні хвильові функції та дискретні спектри енергії у прямокутних, просторових 3D потенціальних ямах розглянуто, наприклад, в [5]. Таким чином, у першому наближенні пояснюється поведінка вільних електронів у металах та зонна теорія твердих тіл у випадку, коли робота виходу електрона з поверхні метала набагато більша, ніж кінетична енергія електрона $A \gg kT$. Значний інтерес у подальшому представляє розгляд фінітного руху електронів у прямокутній циліндричній квантовій точці (ЦКТ), коли висота та радіус ЦКТ одного порядку $H \approx R$ та у випадку конусної квантової точки (ККТ).

Висновки. Розглянуто математичні, комп'ютерні моделі квантових точок (сферичної та циліндричної) зі стінками кінцевої висоти. Отримані хвильові функції, власні значення енергії та щільності ймовірності знаходження електрона в заданій області простору. Результати дослідження кванторозмірних структур використовуються при організації та проведенні імітаційних віртуальних лабораторних робіт з курсу «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій».

Література:

1. Дьоміна Н. А., Морозов М. В. Моделювання кванторозмірних гетероструктур у лабораторному практикумі з курсу «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій» // Наукові записки [Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка]. Сер. Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. 2017. Вип. 12 (2). С. 72-79.

2. Расчет энергетического спектра S-электронов сферической квантовой точки на основе узкозонных полупроводниковых соединений A^mB^v в матрице GaP / С. Б. Смирнов и др. // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії. 2011. С. 164-168.

3. Айрапетян Д. Б., Казарян Э. М., Тевосян О. Х. Примесные состояния в цилиндрической квантовой точке с модифицированным потенциалом Пешля-Теллера // Известия НАН Армении. 2014. Т. 49, № 3. С. 190-195.

4. *Кафтанова Ю. В.* Специальные функции математической физики. Харьков: Новое слово, 2009. 596 с.

5. *Шпольский Э. В.* Атомная физика. Введение в атомную физику. Москва: Наука, 1984. 552 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Демина Н. А., Морозов М. В.

Аннотация – рассмотрены простейшие модели 3D пространственных квантовых точек: сферической и цилиндрической. Математическое, компьютерное моделирование состояния электронов в кванторозмирных структурах используется при разработке имитационных лабораторных работ по курсу «Физические основы современных информационных технологий» для магистров специальности «Компьютерные науки и информационные технологии проектирования». При компьютерном моделировании применяется математический пакет Mathcad. Особый интерес представляет рассмотрение поведения электрона в случае пространственных потенциальных ям со стенками конечной высоты. Квантовые точки (КТ – Quantum Dots) используют в элементной базе нанoeлектроники, в первую очередь при создании дисплеев четвертого поколения (AMOLED-технология), которые приходят на смену жидкостно кристаллическим дисплеям. Кроме того, перспективным является создание лазеров на КТ.

Свойства квантовых точек (дискретный спектр значений собственной энергии) зависит от их формы, размеров и материала (величины эффективной массы носителей заряда). Важную роль играют также граничные условия – вид потенциала, который ограничивает движение электронов. Простейшая модель КТ является трехмерная бесконечно глубокая пространственная потенциальная яма. Но реальные квантовые точки (как с оболочкой, так и без) имеют потенциальные стенки конечной высоты, поэтому моделирование электронной структуры и определения волновой функции и плотности вероятности в этом случае является актуальной задачей.

Рассматривается решение уравнения Шредингера для волновой функции стационарных состояний S-электронов в сферической и цилиндрической системах координат. Полученные в первом приближении собственные значения энергии, вид волновой функции и плотности вероятности нахождения

электрона в заданной области пространства.

SIMULATION OF SPHERICAL AND CYLINDRICAL QUANTUM POINTS

N. D'omina, M. Morozov

Summary

The simplest models of 3D spatial quantum dots are considered: spherical and cylindrical. Mathematical, computer simulation of the state of electrons in quantum-size structures is used in the development of simulation laboratory work in the course "Physical Foundations of Modern Information Technologies" for masters of specialty "Computer Science and Information Technology Design". In computer simulation, Mathcad is used. It is of particular interest to consider the behavior of the electron in the case of spatial potential wells with finite-height walls. Quantum Dots (Quantum Dots CT) are used in the element base of nanoelectronics, primarily in the creation of fourth generation displays (AMOLED technology), which are replaced by liquid crystal displays. In addition, the creation of CT lasers is promising.

The properties of quantum dots (the discrete range of eigenvalues) depend on their shape, size and material (the magnitude of the effective mass of charge carriers). Boundary conditions also play an important role - the kind of potential that limits electron movement. The simplest CT model is a three-dimensional infinitely deep spatial potential well. But real quantum dots (both with and without shell) have potential finite-height walls, so modeling electronic structure and determining the wave function and probability density in this case is an urgent task.

The solution of the Schrödinger equation for the wave function of steady states of S-electrons in spherical and cylindrical coordinate systems is considered. The eigenvalues obtained in the first approximation, the type of wave function, and the probability of finding an electron in a given region of space are obtained.

Зміст

	стор.
<i>ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ</i>	
<i>Кюрчев В. М., Сербій Є. К.</i> Експериментальні дослідження механічного висівного апарату.....	3
<i>Леженкін О. М., Головльов В. А., Михайленко О. Ю., Рубцов М. О.</i> Математична модель руху часточки обчисаного вороху зернових у повітряному потоці.....	14
<i>Головльов В. А., Леженкін О. М., Вершков О. О., Рубцов М. О.,</i> Методика аналітичного визначення швидкості руху часточки обчисаного вороху.....	22
<i>Михайлов Є. В., Задосна Н. О., Афанасьєв О. О.</i> Теоретичний аналіз процесу псевдозрідження зернового вороху.....	29
<i>Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В.</i> Методика обґрунтування конструктивної схеми стрілкової лапи на основі біологічного прототипу.....	37
<i>Дереза О. О., Болтянський Б. В., Дереза С. В.</i> Визначення конструктивних параметрів змішувача-кормороздавача вертикальним бункером.....	46
<i>Журавель Д. П.</i> Моделювання працездатності тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі.....	57
<i>Сербій В. К., Михайленко О. Ю., Антонова Г. В., Чаплінський А. П.</i> Обґрунтування параметрів комбінованого сошника для стрічкового посіву зернових та внесення повних доз мінеральних добрив посівного комплексу.....	68
<i>Самойчук К. О., Ковальов О. О., Колодій О. С., Сірий І. О.</i> Оптимізація експериментальних параметрів та визначення експериментального значення критерію вебера струминно-щілинного гомогенізатора молока.....	78
<i>Стручаєв М. І., Постол Ю. О., Борохов І. В.</i> Підвищення ефективності використання твердопаливних топків.....	86
<i>Пеньов О. В., Черкун В. В., Мирненко Ю. П.</i> Підвищення довговічності та надійності роботи роликів розкаток.....	92
<i>Єременко О. І., Зубок Т. О., Лук'янець В. О.</i> Результати досліджень процесу брикетування соломистих матеріалів ударним пресом.....	98
<i>Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І.</i> Термодинамічна модель отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодівих дерев.....	105
<i>Леженкін О. М., Сірий І. О., Коломієць С. М., Рубцов М. О.</i> Теоретичний аналіз руху шару ґрунту по криволінійній робочій поверхні розпушувача.....	115

<i>Леженкін О. М., Чаплинський А. П., Науменко М. М., Гурідова В. О.</i> Дослідження руху компостної суміші в циліндричному решеті.....	121
---	-----

*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

<i>Галько С. В.</i> Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів.....	130
<i>Квітка С. О., Вовк О. Ю., Стребков О. А., Волошина А. А.</i> Енергозберігаючі режими роботи асинхронних електродвигунів при змінному навантаженні.....	142
<i>Дідур В. В., Дідур В. А., Назаренко І. П.</i> Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів електрофлотаційної установки для очищення пресої ріцинової олії.....	151
<i>Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Яценко В. В.</i> Удосконалення конструкції електромагнітного відстійника для очищення технічних рідин від механічних домішок.....	163
<i>Тиховод С. М., Афанасьева І. О., Романиченко Г. Н., Козлов В. В.</i> Планирование эксперимента для выбора оптимальных значений параметров асинхронного двигателя.....	169
<i>Броварець О. О.</i> Методика розрахунку питомої електропровідності агробіологічного ґрунтового середовища стаціонарним контактним методом робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу.....	176

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Данченко О. О., Здоровцева Л. М., Данченко М. М., Майборода Д. О., Коляденко В. В., Федорко А. С., Гапоненко Т. М.</i> Вплив екстракту вівса посівного на псування гарбуза при зберіганні.....	194
<i>Федорова Д. В.</i> Кулінарні вироби з використанням риборослинних напівфабрикатів.....	201
<i>Товма Л. Ф., Морозов І. Є., Євлаш В. В., Штриголь С. Ю.</i> Обґрунтування інгредієнтного складу та розробка технології продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar».....	212
<i>Кравченко М. Ф., Рибчук Л. А.</i> Оптимізація хімічного складу марципанових паст.....	233
<i>Бандура І. І., Кулик А. С., Гапріндашвілі Н. А., Макогон С. В.</i> Аналіз морфологічних характеристик гливи легеневої штаму <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quél. 2314 ІВК як складових якості грибно-ї сировини.....	241

<i>Кулик А. С., Бандура І. І., Булгаков І. В., Макогон С. В., Загорко Н. П.</i> Розробка рецептури пресервів на основі бичка азовського та гливи звичайної.....	251
<i>Григоренко О. В.</i> Розширення асортименту та поліпшення якості хлібобулочних виробів з тритикале.....	262
<i>Жукова В. Ф., Гапріндашвілі Н. А., Сухаренко О. І., Коляденко В. В.</i> Вплив антиоксидантної обробки плодів на збереженість якості гетерозисних сортів томата з генами уповільненого досягання.....	268

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Miguel Hurtado Madrid, Gregorio Trinidad Garcia, Jose I. Cortez, Jose Luis Ameca, Fernanda Merlo Simoni, Cesar Antonio Aguilar Rodríguez, Hanna Aliksieieva, Natalya Sosnytska.</i> Analysis of the efficiency of data compression in a three-dimensional scanning system using the rle algorithm.....	276
<i>Єремєєв В. С., Наумук О. В., Брянцев О. А., Печерський Р. В.</i> Математична модель для вивчення впливу швидкості відкачування рідини на тиск ґрунтових вод в зоні опускних колодязів.....	289
<i>Єремєєв В. С., Прокоф'єв Є. Г., Наумук О. В., Брянцев О. А.</i> Програмне забезпечення для оптимізації процесу методом бокса-бенкіна у разі трифакторного експерименту з декількома вихідними параметрами.....	295
<i>Пихтєєва І. В., Антонова Г. В.</i> Алгоритм до знаходження верхньої граничної траєкторії на лемішно-відвальній поверхні..	308
<i>Пихтєєва І. В., Івженко О. В., Лубко Д. В.</i> Вирішення задачі по визначенню технологічних параметрів процесу простого обтягування.....	316
<i>Дьоміна Н. А., Морозов М. В.</i> Моделювання сферичних та циліндричних квантових точок.....	325

Наукове фахове видання
Технічні науки

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 19, том 3

Свідоцтво про державну реєстрацію – Міністерство юстиції
13503-2387 ПР від 03.12.2007 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., проф. Леженкін О. М.
Коректори:
Редакційна група Наукової бібліотеки ТДАТУ ім. Д. Моторного,
Лівик Н. В.

Підписано до друку 27.09.2019 р. друк Rizo.
Друкарня ТДАТУ ім. Д. Моторного
21,1 умов. друк. арк. тираж 100 прим.

73312 ПП Верескун.
Запорізька обл., м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 10
тел. (06192) 6-88-38