



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-1

УДК 621.225.001.4

А. І. Панченко¹, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0002-1230-1463

А. А. Волошина¹, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0003-4052-2674

І. А. Панченко¹, інженер

ORCID: 0000-0003-2150-4278

А. А. Волошин², інженер¹Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного²Мелітопольський фаховий коледж ТДАТУ

e-mail: voloshinaa2012@gmail.com, тел.: (097)5262603

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНЕТАРНОГО ГІДРОМОТОРУ НА ЗМІНУ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація. Для приводу активних робочих органів та ходових систем самохідної техніки найчастіше застосовуються високомоментні низькооборотні гідромотори героторного, орбітального та планетарного виконання. Одним з основних вузлів, що зумовлюють зниження функціональних параметрів гідромоторів є система розподілу робочої рідини, яка створює гідравлічне поле, що обертається. Гідравлічне поле необхідне для руху внутрішнього ротора зазначених гідромашин. Експериментальні стендові дослідження проводилися на серійному та модернізованому гідромоторах серії PRG-22 із робочим об'ємом 160 см³. Модернізація гідромотора полягала у зміні геометричних та функціональних параметрів рухомого та нерухомого розподільників. Внаслідок проведених досліджень розроблено експериментальний стенд для проведення випробувань гідромоторів. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень уніфікованого ряду планетарних гідромоторів. Встановлено, що підвищення пропускної здатності гідромотора з модернізованою розподільною системою дозволяє підвищити гідромеханічний ККД модернізованого гідромотора на 11...14 %, об'ємний – на 2...4 %, а загальний – на 7...9 %. Дослідженнями зміни функціональних параметрів планетарного гідромотора встановлено, що в діапазоні частот обертання 75...550 хв⁻¹ крутний момент, що розвивається серійним гідромотором, становить 300...325 Н·м і змінюється незначно (у межах 8 %), що є ознакою жорсткої характеристики даного гідромотора. Стабільність крутного моменту (в межах 1,5 %), що розвивається модернізованим гідромотором



370...375 Н·м у діапазоні частот обертання 75...450 хв⁻¹ підтверджує його жорстку характеристику.

Ключові слова: експериментальні дослідження, планетарний гідромотор, розподільна система, коефіцієнт корисної дії, крутний момент, частота обертання валу, витрата робочої рідини.

Постановка проблеми. Для приводу активних робочих органів та ходових систем дорожньої, будівельної, сільськогосподарської та іншої самохідної техніки найчастіше використовуються високомоментні низькобортні гідравлічні двигуни героторного [1, 2], орбітального [3] та планетарного [4] виконання. Одним з основних вузлів, що зумовлюють зниження функціональних параметрів гідромоторів є система розподілу робочої рідини, яка створює гідравлічне поле, що обертається. Гідравлічне поле необхідне для руху внутрішнього ротора зазначених гідромашин [5, 6]. Основним недоліком розподільної системи є коливання потоку робочої рідини, що підводиться до гідромотора, які спричинені нерівномірністю її пропускної здатності [6].

Під пропускною здатністю розподільної системи планетарного гідромотора розуміється сумарна площа перекриття робочих вікон. Нераціональне проектування елементів розподільної системи призводить до коливань площі перекриття та зміни функціональних параметрів гідромотора в цілому, що підтверджується параметричними дослідженнями [5, 6]. У зв'язку з цим, проведення експериментальних досліджень планетарних гідромоторів з метою визначення впливу конструктивних особливостей їх розподільних систем на зміну функціональних параметрів планетарних гідромоторів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Розроблено методику проектування гідравлічних мехатронних систем з елементами багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє проектувати мехатронну систему із заданими вихідними характеристиками [7]. Запропоновано динамічну модель приводу [8]. Досліджено динамічні процеси, що відбуваються в мехатронних системах із планетарними гідромоторами, з метою прогнозування зміни їх вихідних характеристик [9]. Отримано рівняння регресії, що описують зміну вихідних характеристик гідромотора в процесі експлуатації при заданому діапазоні зміни його робочих параметрів [9]. Запропоновано методику проведення експериментальних досліджень та побудови регулювальних характеристик [10]. Експериментальні дослідження мехатронних систем із об'ємними гідравлічними машинами не розглядалися.

Встановлено умови статичної рівноваги мобільного комплексу [13]. Запропоновано інженерну методику визначення радіальної



податливості, яка враховує радіальний зазор та контактні деформації деталей [11]. За допомогою нелінійних моделей та методу аналізу поверхні відгуку обґрунтовано параметри тонкостінних конструкцій [12], проведено дослідження, що дозволяють розробити адекватні моделі для аналізу реакції тонкостінних конструкцій на дію навантаження [13]. Розглянуто залежності контактного тиску від зовнішніх сил, що на них діють [14], визначено розподіл контактних тисків [15], встановлено закономірності розподілу контактного тиску [16], досліджено знос проточної частини вихрекамерних нагнітачів [17]. Розглянуто питання підвищення контактної витривалості поверхневого шару зубів шестерень [18], досліджено умови виникнення кавітації в зазорах елементів конструкцій аксіально-поршневих гідромашин [19] та в зубчастих передачах [20], розроблено методику [21] та методи [22] моделювання зубчастих уточнено математичну модель робочого процесу [23], проведено аналіз пульсацій подачі рідини шестеренним насосом [24], досліджено динаміки рідини в поршневих парах об'ємних гідромашин [25]. Питання, пов'язані з дослідженнями в галузі проектування та експлуатації гідромашин із циклоїдальною формою роторів, не розглядалися.

Відомо [1, 3, 7, 9], що в мехатронних системах з гідравлічним приводом в основному застосовуються героторні [1, 2], орбітальні [3, 5] та планетарні [4, 6] гідромашини з циклоїдальною формою роторів. Запропоновано теоретичний метод для прогнозування характеристик пускового моменту орбітально-поршневих двигунів з постійною різницею [26]. Проведено експерименти, що підтверджують теоретичну модель [27]. Проведено чисельне моделювання, що імітує ту саму конфігурацію та прогнозовані глибини зношування, що потім порівнюється з експериментальними результатами досліджень [28]. Реалізовано метод визначення надійності гідромотора шляхом моделювання змін технічного стану внутрішнього та зовнішнього роторів [29]. Виконано аналіз продуктивності орбітального двигуна та проведено експериментальні дослідження [30]. Проведено комплексні дослідження гідростатичної установки з малою швидкістю обертання орбітального ротора в системі гідростатичної трансмісії. Використовуючи фактичні параметричні значення, загальна динамічна модель підтверджена експериментально [31]. Питання, пов'язані з експериментальними дослідженнями планетарних гідромашин, не розглядалися.

Запропоновано розрахункові формули та проведено порівняльну оцінку за критерієм поперечного перерізу каналу гідравлічної машини з планетарним ротором із центральним зубчастим колесом у формі хвилі та плаваючими сателітами [32]. Проведено систематизацію та



порівняльний аналіз схем механізмів планетарних роторних гідравлічних машин [33]. Досліджено кавітаційні явища, що виникають у зоні розподілу робочої рідини [34]. Проведено огляд перспективних методів отримання та застосування в трибології наночастинок вуглецю [35] наведено результати випробувань трибосистем при використанні рідкокристалічних присадок [36], розглянуто експериментальні дослідження, що враховують вплив електростатичного поля на робочу рідину об'ємного гідроприводу [37]. Визначено значення втрат тиску, витрати та розподілу швидкості по перерізу трубопроводу у прямому ділянці та в повороті [38]. Подано порівняння використання моделі турбулентності SST з урахуванням кривизни ліній струму та обертання потоку [39], розглянуто застосування підходу RANS з використанням скоригованої моделі турбулентності SST, що дозволяє визначити всі основні характеристики вихрового потоку [40]. Запропоновано 3D модель, що враховує обсяг робочої рідини, що динамічно змінюється, в робочих камерах [41], наведені математичні вирази для оцінки витрати робочої рідини [42] в героторних гідромашинах. Необхідно відзначити, що робота роторів героторного насоса принципово відрізняється від роботи роторів планетарного (орбітального) гідромотора. Для функціонування планетарного гідромотора необхідно гідравлічне поле робочої рідини, що обертається, створюване розподільною системою [6]. Циклічність обертання гідравлічного поля залежить від кількості робочих камер, утворених зовнішнім та внутрішнім роторами та характеризується кінематичною схемою розподільної системи [6]. Обґрунтовано кінематичні схеми розподільних систем планетарних гідромоторів [6], розроблено методику зміщення розподільних вікон рухомого розподільника, що дозволяє знизити коливання потоку робочої рідини (пропускної здатності), і як наслідок, покращити вихідні характеристики планетарного гідромотора. Експериментальні дослідження впливу конструктивних особливостей розподільної системи на функціональні параметри планетарного гідромотора не проводились.

При виконанні параметричних досліджень впливу конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотора було прийнято низку припущень та обмежень [4, 6, 9]. У зв'язку з цим, проведення порівняльних експериментальних досліджень гідромоторів із серійною та модернізованою розподільними системами є одним із найважливіших та найактуальніших завдань.

Формування мети статті. Підвищення ефективності роботи планетарних гідромоторів для приводу активних робочих органів та ходових систем самохідної техніки шляхом проведення експериментальних досліджень впливу конструктивних особливостей розподільної системи серійного та модернізованого планетарних



гідромоторів на їх функціональні параметри.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

–розробити стенд для проведення випробувань високомоментних низькооборотних гідромоторів планетарного типу;

–розробити методику проведення експериментальних досліджень впливу конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотора на зміну його функціональних параметрів;

–дослідити вплив конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотора на зміну його функціональних параметрів.

Основна частина. Проведені раніше параметричні дослідження [4, 6, 9] визначення впливу конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотора на зміну його функціональних параметрів пов'язані з низкою припущень і обмежень. Тому, з метою підтвердження та коригування отриманих раніше результатів параметричних досліджень, необхідно провести порівняльні стендові випробування планетарних гідромоторів із серійною та модернізованою розподільними системами.

Розроблений стенд для проведення стендових випробувань планетарних гідромоторів (рис. 1, а) складається з чотирьох основних вузлів: насосної станції (рис. 1, б), навантажувального пристрою (рис.1, в), вузла вимірювання витрати і зміни напрямку потоку робочої рідини (рис. 1, г) та пульта управління (рис. 1, д). Цей стенд дозволяє проводити випробування сімейства уніфікованих рядів планетарних гідромоторів потужністю 6,5; 11; 22 та 33 кВт, відповідно.

Насосна станція складається (рис. 1, б) з рами, на якій розміщений бак для робочої рідини з термометром, аксіально-поршневого регульованого насосу робочим об'ємом 89 см^3 з приводним електродвигуном, насосу підживлення та трьох запобіжних (переливних) клапанів. Для кондиціонування робочої рідини на насосній станції розміщені два фільтри тонкого очищення, два теплообмінники, два манометри та запірні вентиля.

Навантажувальний пристрій (рис. 1, в) призначений для імітації навантаження на вал гідромотора шляхом його гальмування та являє собою порошкове гальмо, розміщене на рамі спільно з випробуваним гідромотором. При вимірюванні функціональних параметрів випробуваного гідромотора використовуються два манометри для контролю тиску та тахометр з датчиком імпульсів для визначення кутової швидкості.



а



б



в



г



д

а – загальний вигляд; б – насосна станція; в – навантажувальний пристрій; г – вузол вимірювання витрати та зміни напрямку потоку робочої рідини; д – пульт управління

Рисунок 1. Експериментальний стенд щодо випробувань планетарних гідромоторів

Вузол вимірювання витрати та зміни напрямку потоку робочої рідини (рис. 1, г) призначений для вимірювання кількості робочої



рідини, що проходить через гідромотор та для реверсивного включення гідромоторів при випробуваннях. Він складається з рами, на якій розміщені два розподільники з електроуправлінням, два таровані аксіально-поршневі гідромотори з тахометрами і датчиками імпульсів з дисками та два фільтри тонкого очищення.

Пульт управління (рис. 1, д) призначений для керування за відповідним алгоритмом електричними елементами стенду: приводними електродвигунами, розподільниками потоку, тахометрами, порошковими гальмами тощо.

Експериментальні стендові дослідження проводилися на серійному та модернізованому гідромоторах серії PRG-22 із робочим об'ємом 160 см^3 . Модернізація гідромотора полягала у зміні геометричних параметрів рухомого та нерухомого розподільників, інші деталі гідромотора залишалися серійними. Дослідження проводилися для планетарних гідромоторів із кінематичною схемою розподільної системи 7/6 [6]. Кількість розподільних вікон рухомого розподільника дорівнює 12 (6 робочих та 6 розвантажувальних вікон), а кількість розподільних вікон нерухомого розподільника дорівнює 14 (7 вікон нагнітання та 7 вікон зливу). У серійній розподільній системі використовуються 3 розвантажувальні вікна як додаткові робочі, а зазор між вікнами рухомого і нерухомого розподільників становить $0^\circ 51'$. У модернізованій розподільній системі гідромотора використовуються 2 розвантажувальні вікна як додаткові робочі, а зазор між розподільними вікнами дорівнює 0° [4]. Пропускна здатність розподільних систем гідромоторів визначалася сумарною площею прохідного перерізу робочих вікон. Для серійного гідромотора площа прохідного перерізу коливається у межах $222 \dots 226 \text{ мм}^2$, середня площа становить 223 мм^2 , для модернізованого – площа прохідного перерізу постійна та дорівнює 226 мм^2 .

Необхідне значення витрати робочої рідини через гідромотор дорівнює 50, 70, 90 і 110 л/хв , відповідно, встановлювалося за допомогою регульованого насоса при роботі випробуваного гідромотора на холостому ході (без навантаження). Необхідне навантаження задавалося за допомогою гальмівного пристрою випробувального стенду в діапазоні $25 \dots 400 \text{ Н}\cdot\text{м}$ з кроком $25 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Основними факторами, що визначають зміну функціональних параметрів планетарного гідромотора є: частота обертання, різниця тиску та зазор між розподільними вікнами рухомого та нерухомого розподільників [4, 6, 9]. Дослідження зміни функціональних параметрів серійного та модернізованого гідромоторів оцінювалося за результатами порівняльних випробувань цих гідромоторів (табл. 1).



Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень гідромотора із серійною та модернізованою розподільними системами

$n, \text{хв}^{-1}$	$Q, \text{л/хв}$	$\Delta p, \text{МПа}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta_{\text{зм}}$	$\eta_{\text{об}}$	η
серійний гідромотор						
<i>$\Delta p = 8 \text{ МПа}$</i>						
61	10,56	8,24	181	0,872	0,913	0,796
147	25,29	7,71	174	0,897	0,918	0,823
302	51,002	7,83	180	0,913	0,936	0,855
449	76,18	7,88	174	0,878	0,931	0,817
604	103,82	7,74	160	0,821	0,919	0,754
776	135,08	7,48	132	0,702	0,908	0,637
<i>$\Delta p = 16 \text{ МПа}$</i>						
62	10,78	15,7	330	0,834	0,909	0,758
151	26,14	15,45	331	0,851	0,913	0,777
298	50,68	15,47	334	0,858	0,929	0,797
452	77,57	15,63	338	0,859	0,921	0,791
601	103,93	15,54	329	0,841	0,914	0,769
775	135,19	15,16	287	0,752	0,906	0,681
<i>$\Delta p = 20 \text{ МПа}$</i>						
58	10,14	19,41	395	0,809	0,904	0,731
150	25,93	19,52	406	0,826	0,914	0,755
301	51,64	19,1	411	0,855	0,921	0,787
449	77,14	19,15	408	0,847	0,919	0,788
598	103,71	19,32	401	0,825	0,911	0,752
779	135,94	18,88	349	0,734	0,905	0,664
модернізований гідромотор						
<i>$\Delta p = 8 \text{ МПа}$</i>						
62	10,35	8,08	191	0,94	0,946	0,889
152	25,07	7,9	190	0,955	0,958	0,915
303	49,83	7,88	189	0,953	0,961	0,916
452	74,48	7,63	180	0,938	0,959	0,899
601	99,23	8,04	178	0,878	0,957	0,84
774	129	7,62	145	0,756	0,948	0,717
<i>$\Delta p = 16 \text{ МПа}$</i>						
60	10,14	15,39	358	0,925	0,935	0,865
150	25,07	15,5	362	0,928	0,945	0,877
298	49,19	15,62	368	0,936	0,958	0,897
448	74,16	15,13	354	0,929	0,954	0,886
597	99,23	15,74	360	0,909	0,951	0,865
778	129,75	15,52	302	0,773	0,947	0,732
<i>$\Delta p = 20 \text{ МПа}$</i>						
61	10,35	19,36	445	0,913	0,933	0,852
149	25,07	19,17	442	0,916	0,939	0,86
301	49,83	19,44	453	0,926	0,954	0,883
449	74,48	19,19	447	0,925	0,952	0,881
598	99,66	19,08	438	0,912	0,948	0,865
776	129,64	19,09	382	0,795	0,946	0,752



Механічний, об'ємний та загальний ККД випробуваних гідромоторів визначався згідно зі стандартною методикою за результатами вимірювання перепаду тиску, крутного моменту, частоти обертання валу гідромотора та витрати робочої рідини.

В результаті проведених експериментальних досліджень визначено залежність ККД випробуваних гідромоторів від частоти обертання його валу (рис. 2-4, табл. 1). Встановлено, що характер закономірностей зміни ККД серійного та модернізованого гідромоторів у всьому діапазоні зміни частот обертання аналогічний.

Аналіз наведених залежностей показує (рис. 2-4, табл. 1), що:

– ККД гідромотора зростає при зміні частоти обертання в діапазоні $10...450 \text{ хв}^{-1}$, а при зміні частоти обертання в діапазоні $600...780 \text{ хв}^{-1}$ стрімко падає;

– зі зміною перепаду тиску Δp (в діапазоні $16...20 \text{ МПа}$) гідромеханічний $\eta_{гм}$ (рис. 2, б, в), об'ємний $\eta_{об}$ (рис. 3, б, в) та загальний η (рис. 4, б, в) ККД практично не змінюються.

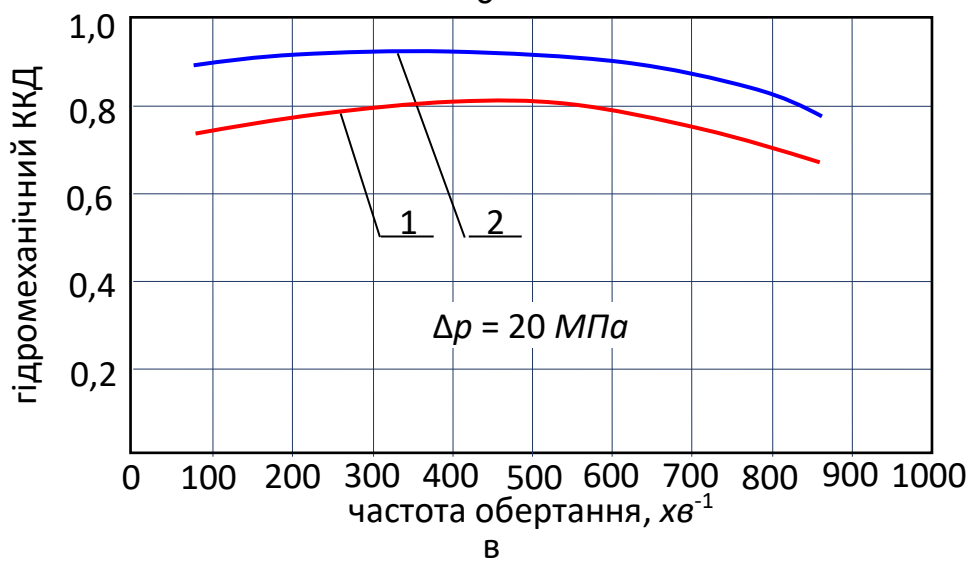
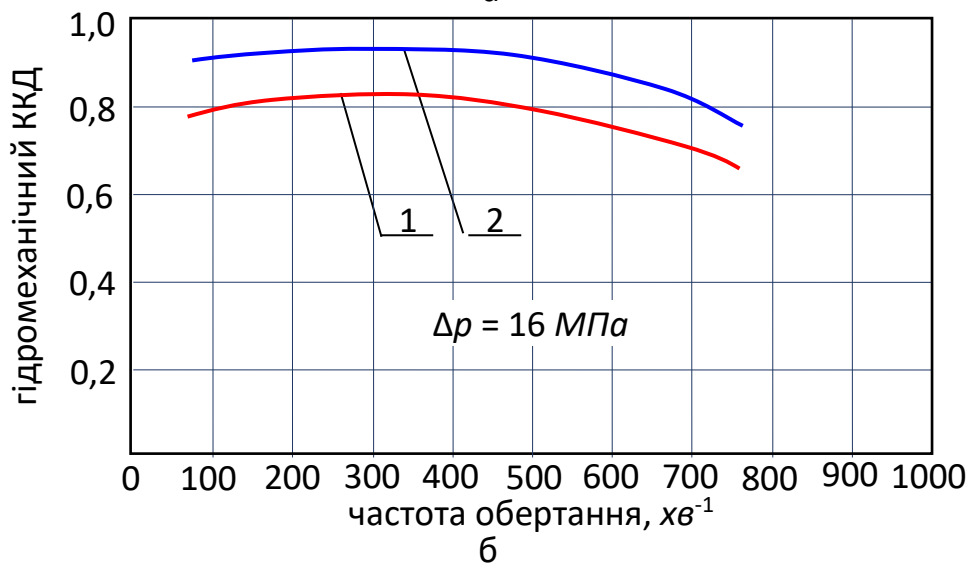
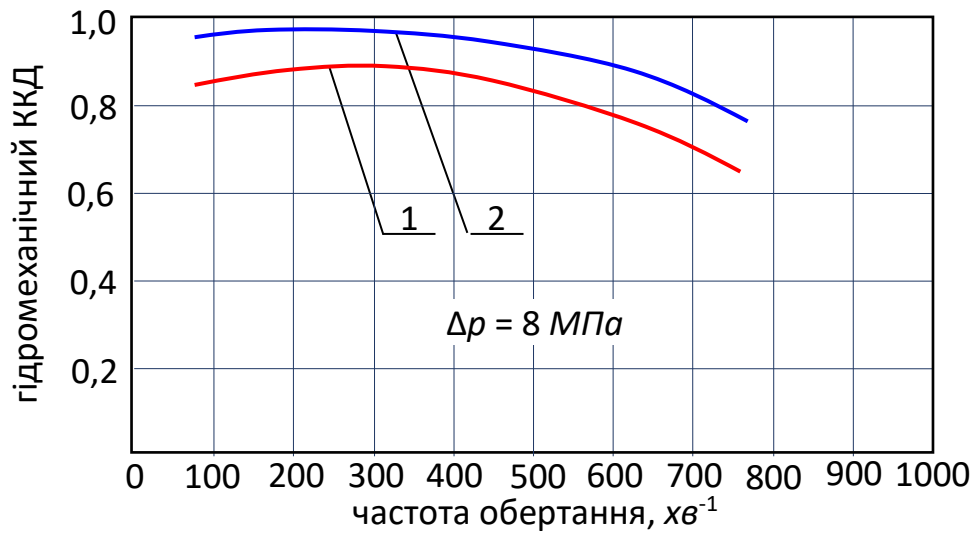
При збільшенні частоти обертання валу гідромотора до 300 хв^{-1} гідромеханічний ККД (рис. 2, б) обох гідромоторів зростає, приймаючи значення $0,75...0,81$ для серійного (крива 1) та $0,89...0,92$ для модернізованого (крива 2) гідромоторів. Максимальне значення гідромеханічного ККД знаходиться в діапазоні частот обертання його валу $150...450 \text{ хв}^{-1}$. Збільшення частоти обертання валу гідромотора до 670 хв^{-1} призводить до значного зменшення його гідромеханічного ККД до значень $0,65$ для серійного та $0,75$ для модернізованого гідромоторів. Гідромеханічний ККД гідромотора з модернізованою розподільною системою на $11...14\%$ вище, ніж у гідромотора із серійною розподільною системою (рис. 2).

Об'ємний ККД гідромотора (рис. 3, б) з модернізованою розподільною системою (крива 2) на $2...4\%$ вище, ніж у гідромотора з серійною розподільною системою (крива 1) і в усьому діапазоні зміни частот обертання залишається практично незмінним.

Зміни загального ККД від частоти обертання (рис. 4, б) має такий же характер, як і залежності гідромеханічного ККД (рис. 2 б), що пояснюється малими об'ємними втратами. Загальний ККД гідромотора з модернізованою розподільною системою (крива 2) на $7...9\%$ вище, ніж у гідромотора із серійною розподільною системою (крива 1).

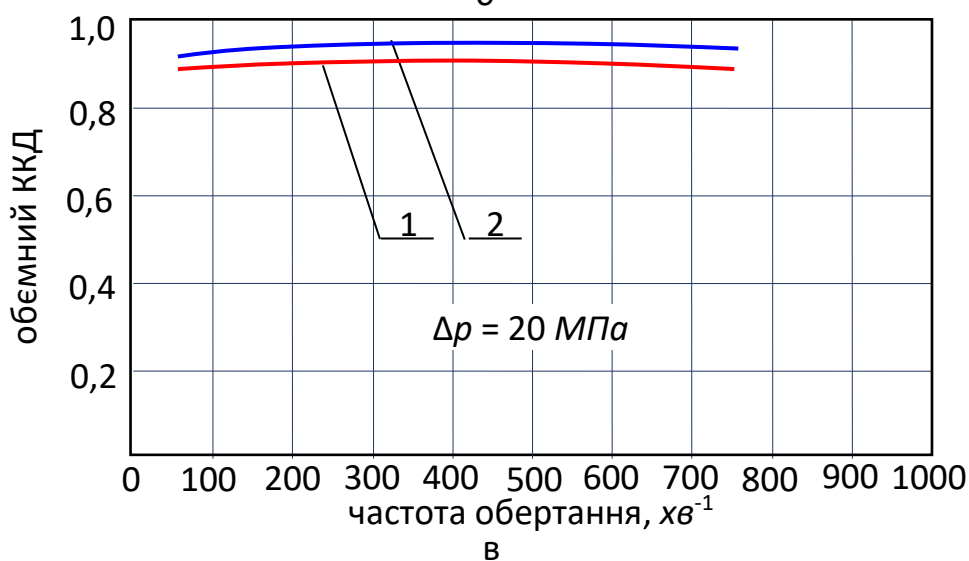
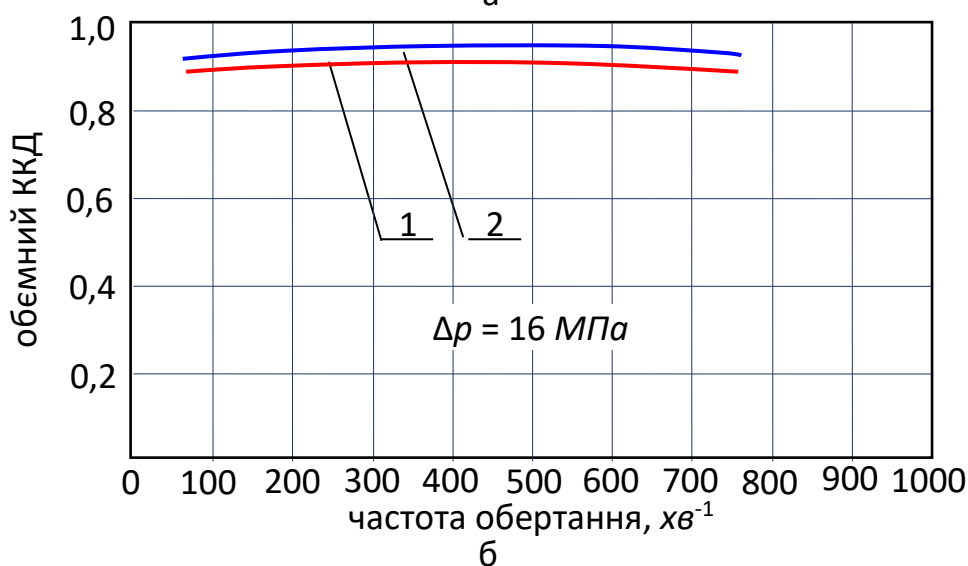
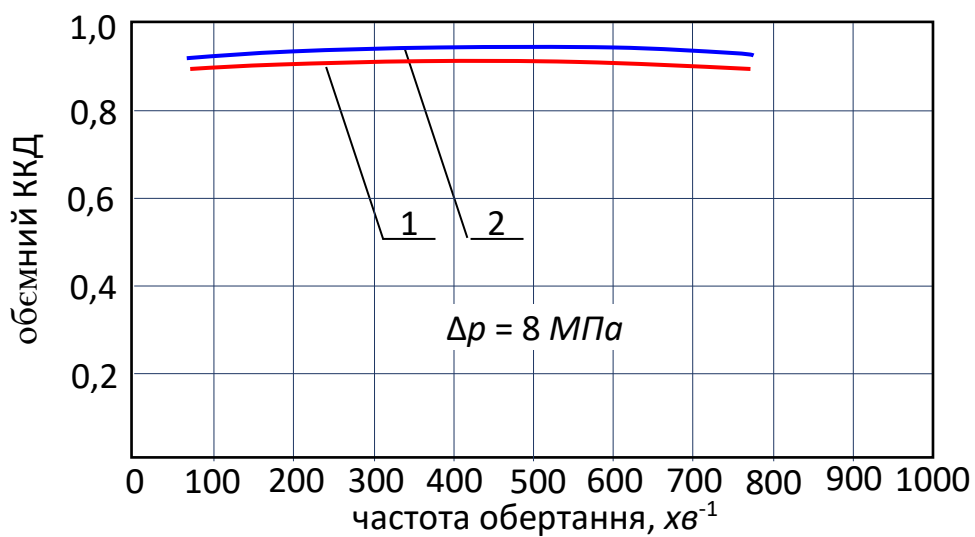
Збільшення значень гідромеханічного, об'ємного та загального ККД модернізованого гідромотора пояснюється збільшенням пропускної здатності його розподільної системи.

Аналіз залежності моменту M від частоти обертання n при різних значеннях перепаду тиску Δp серійного та модернізованого гідромоторів показує (рис. 5), що:



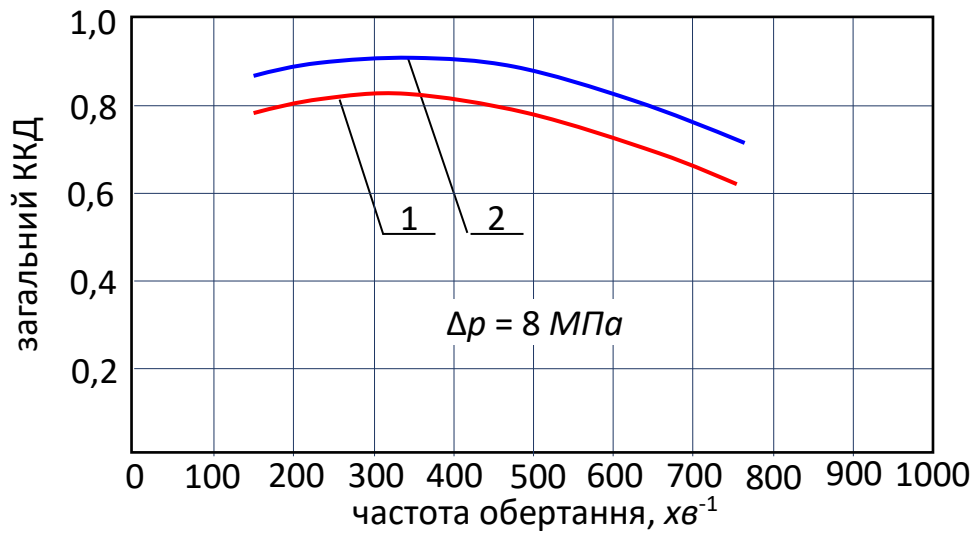
1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

Рисунок 2. Залежність гідромеханічного ККД від частоти обертання вихідного валу планетарного гідромотора

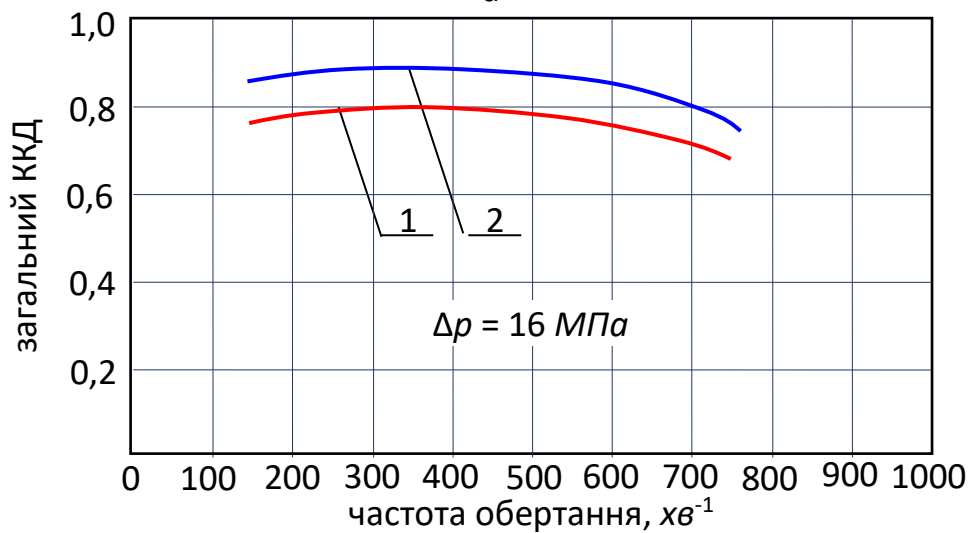


1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

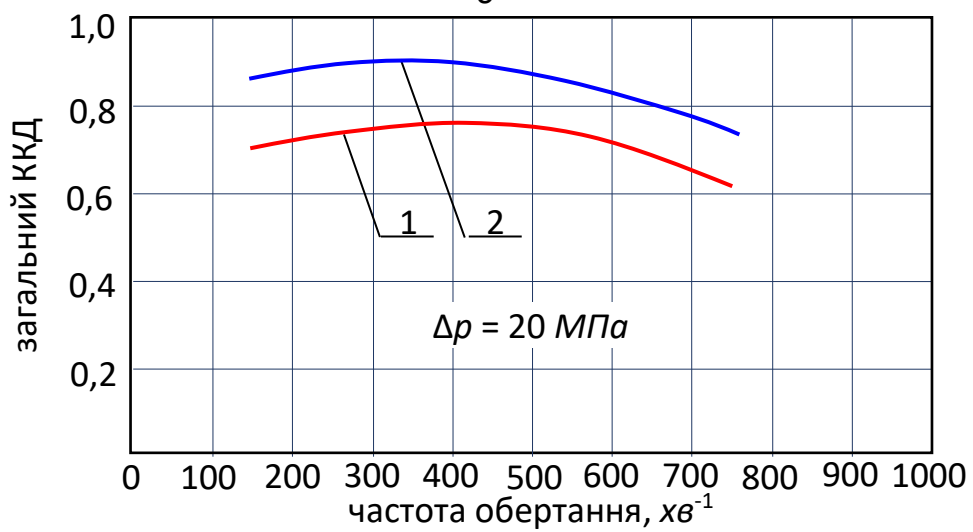
Рисунок 3. Залежність об'ємного ККД від частоти обертання вихідного валу планетарного гідромотора



а



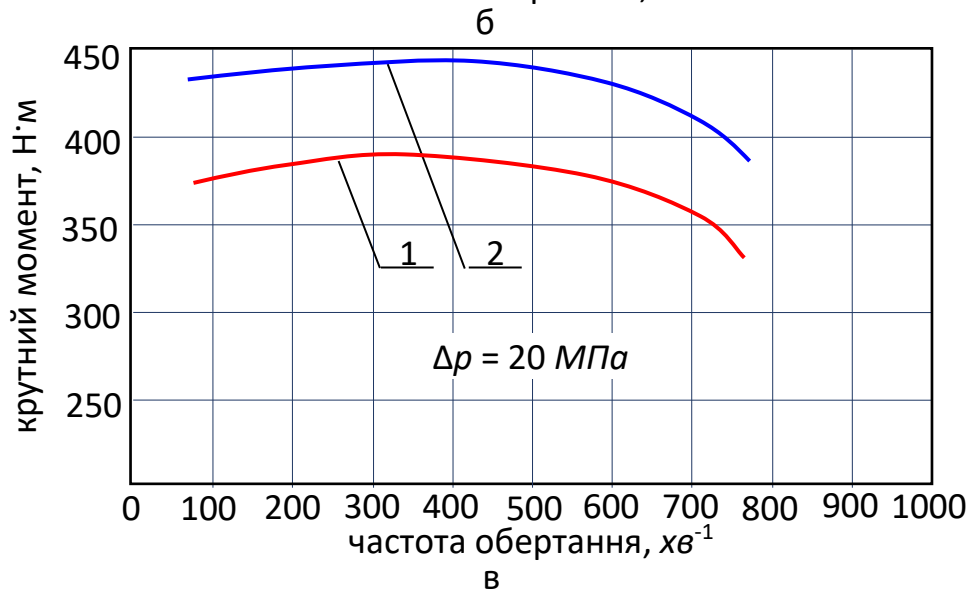
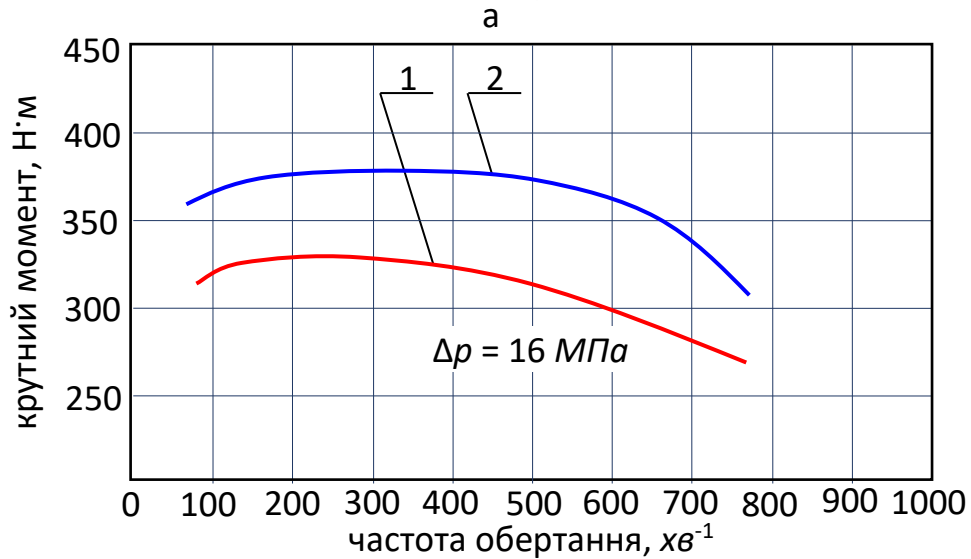
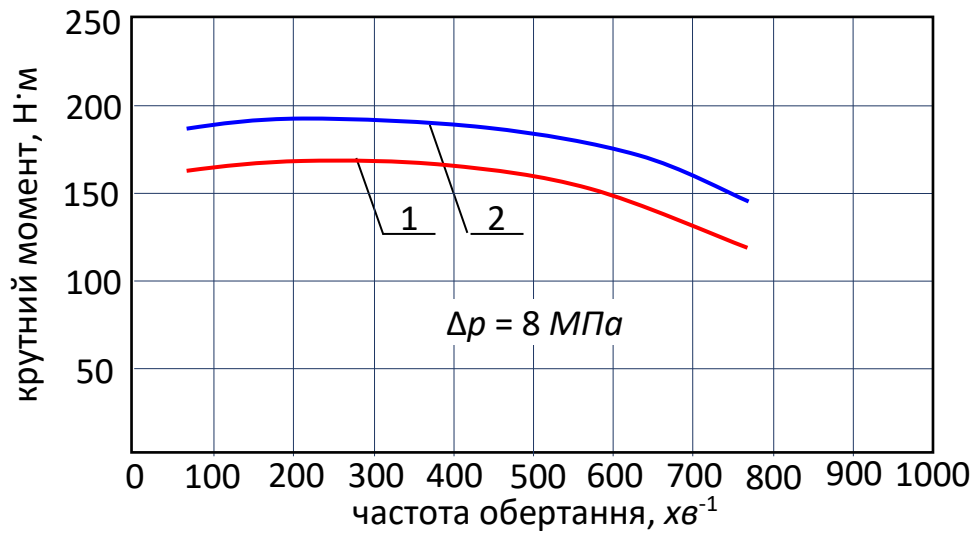
б



в

1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

Рисунок 4. Залежність загального ККД від частоти обертання вихідного валу планетарного гідромотора



в

1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

Рисунок 5. Залежність крутного моменту від частоти обертання вихідного валу планетарного гідромотора



- зі збільшенням перепаду тиску до максимального значення ($\Delta p = 20 \text{ МПа}$) крутний момент зростає;
- так як крутний момент залежить як від перепаду тиску, так і від гідромеханічного ККД, то залежності крутного моменту (рис. 5) носять характер, аналогічний залежностям гідромеханічного ККД (рис. 2);
- при зміні частоти обертання в діапазоні $600 \dots 780 \text{ хв}^{-1}$ значення крутного моменту стрімко падають.

Дослідженнями зміни функціональних параметрів планетарного гідромотора встановлено, що характер зміни крутного моменту залежно від частоти обертання (рис. 5) для серійного і модернізованого гідромоторів аналогічні. У діапазоні зміни частот обертання $75 \dots 550 \text{ хв}^{-1}$ крутний момент, що розвивається серійним гідромотором, становить $300 \dots 325 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рис. 5, б – крива 1) та змінюється незначно (у межах 8%), що є ознакою жорсткої характеристики даного гідромотора. Стабільність крутного моменту (в межах 1,5%), що розвивається модернізованим гідромотором в межах $370 \dots 375 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рис. 5, б – крива 2) у діапазоні зміни частот обертання $75 \dots 450 \text{ хв}^{-1}$ підтверджує його жорстку характеристику. Під жорсткістю характеристики гідромотора розуміється його здатність забезпечувати стабільні показання крутного моменту у великому діапазоні зміни частоти обертання, особливо при низьких оборотах.

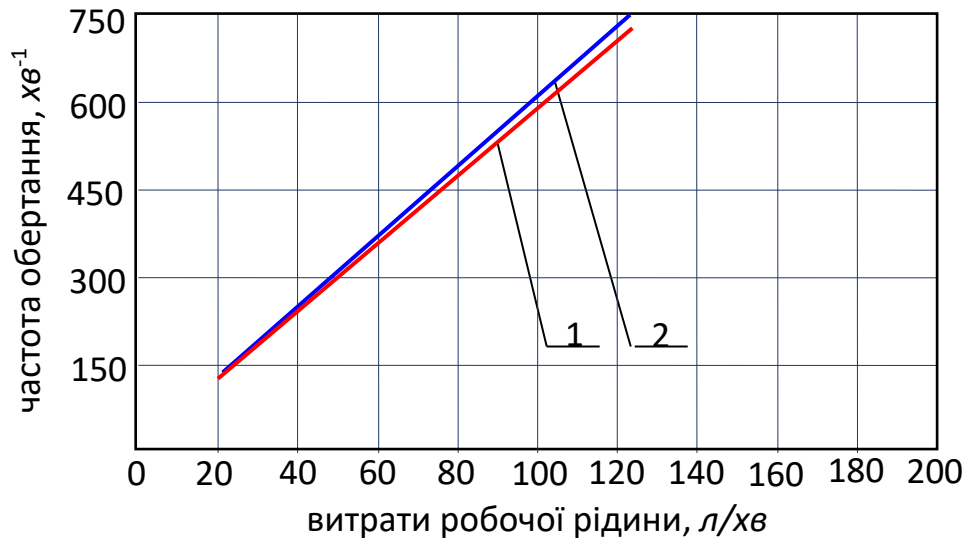
Підвищена стабільність крутного моменту, що розвивається модернізованим гідромотором і збільшене на 14% абсолютне значення крутного моменту пояснюється раціональним проектуванням конструкції елементів розподільної системи модернізованого гідромотора.

Аналіз залежності зміни частоти обертання вала гідромотора від витрати робочої рідини (рис. 6) показує, що ці параметри як для серійного (крива 1), так і для модернізованого (крива 2) гідромоторів знаходяться в лінійній залежності та зі збільшенням витрати робочої рідини збільшуються. Модернізація розподільної системи майже не впливає на зміну розглянутих залежностей.

Аналіз залежності зміни частоти обертання від перепаду тиску при різних значеннях витрати робочої рідини показує (рис. 7), що при тому самому значенні витрати робочої рідини зі збільшенням перепаду тиску частота обертання не змінюється, як для серійного (криві 1) так і для модернізованого гідромоторів (криві 2).

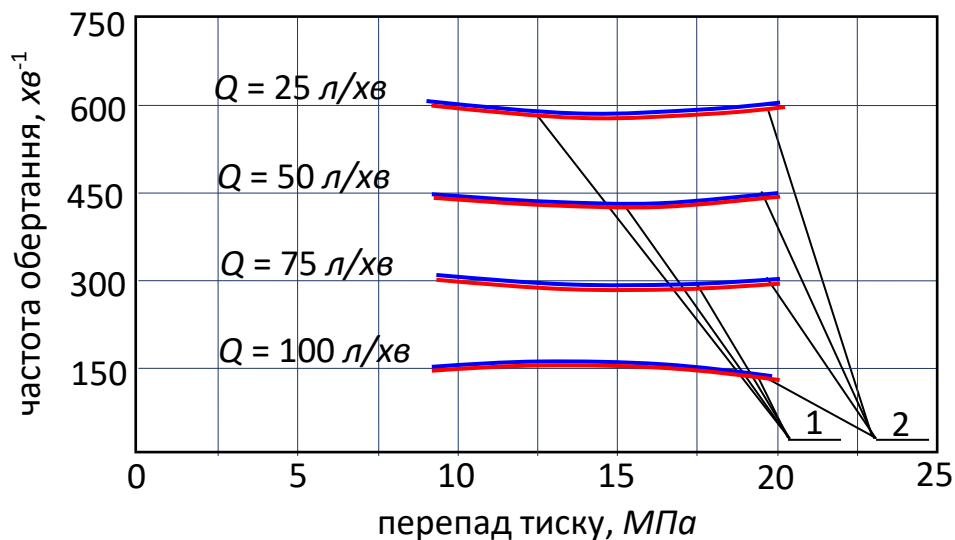
Таким чином, дослідженнями впливу конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотора на зміну його функціональних параметрів встановлено, що усунення пульсації потоку робочої рідини та підвищення пропускної здатності планетарного гідромотора з модернізованою розподільною системою

дозволяє підвищити гідромеханічний ККД модернізованого гідромотора на 11...14%, об'ємний – на 2... 4%, а загальний – на 7...9%. Також необхідно відзначити, що модернізація розподільної системи майже не впливає на зміну частоти обертання від витрати робочої рідини та частоти обертання від перепаду тиску.



1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

Рисунок 6. Залежність частоти обертання від витрати робочої рідини



1 – серійний гідромотор; 2 – модернізований гідромотор

Рисунок 7. Залежність частоти обертання від перепаду тиску

Висновок. В результаті проведених досліджень розроблено експериментальний стенд для проведення випробувань високомоментних гідромоторів, що дозволяє проводити випробування сімейства уніфікованих рядів планетарних гідромоторів потужністю



6,5; 11; 22 та 33 кВт, відповідно. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень уніфікованого ряду планетарних гідромоторів.

Проведеними дослідженнями встановлено, що максимальне значення гідромеханічного ККД знаходиться в діапазоні частот обертання його валу 150...450 хв⁻¹. Гідромеханічний ККД гідромотора з модернізованою розподільною системою на 11...14 % вище, ніж у гідромотора із серійною розподільною системою. Об'ємний ККД гідромотора з модернізованою розподільною системою на 2...4 % вище, ніж у гідромотора із серійною розподільною системою та в усьому діапазоні зміни частот обертання залишається практично незмінним. Загальний ККД гідромотора з модернізованою розподільною системою на 7...9 % вище, ніж у гідромотора із серійною розподільною системою. Збільшення значень гідромеханічного, об'ємного та загального ККД модернізованого гідромотора пояснюється збільшення пропускної здатності його розподільної системи.

Дослідженнями зміни функціональних параметрів планетарного гідромотора встановлено, що в діапазоні частот обертання 75...550 хв⁻¹ крутний момент, що розвивається серійним гідромотором, становить 300...325 Н·м та змінюється незначно (у межах 8 %), що є ознакою жорсткої характеристики даного гідромотора. Стабільність крутного моменту, що розвивається модернізованим гідромотором 370...375 Нм (у межах 1,5%) у діапазоні частот обертання 75...450 хв⁻¹ підтверджує його жорстку характеристику.

Список використаних джерел

1. Gamez-Montero P., Codina E. and Castilla R. A Review of Gerotor Technology in Hydraulic Machines Energies. *Energies*. 2019. Vol. 12. № 12. P.2423. Doi:10.3390/en12122423.
2. Strmcnik E. and Majdic F. The Pressure and Efficiency Characteristic of Hydraulic Gerotor Motor with the Floating Outer Ring. *Tehnicki vjesnik-technical gazette*. 2018. Vol. 2. № 25. P. 609–515. Doi: 10.17559/TV-20161201093324.
3. Panchenko A., Voloshina A., Milaeva I. and Luzan P. Operating Conditions' Influence on the Change of Functional Characteristics for Mechatronic Systems with Orbital Hydraulic Motors. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer. 2019. P. 169–176.
4. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Пастушенко С.І. Обґрунтування розташування вікон розподільних систем планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 3–20. Doi: 10.31388/2078-0877-19-4-3-20.
5. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Пастушенко С.І. Дослідження впливу похибки форми виготовлення роторів на



вихідні характеристики планетарних гідромоторів. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 33–48. Doi: 10.31388/2078-0877-19-4-33-48.

6. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А. Забезпечення працездатності розподільних систем планетарних гідромашин. *Промислова гідраліка і пневматика*, 2019. № 1 (63). С. 55–60.

7. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А. Модель гідралічного приводу мехатронної системи. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 59–83. Doi: 10.31388/2078-0877-18-2-58-82.

8. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Засядько А. І. Прогнозування зміни вихідних характеристик при проектуванні планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 91–105. Doi:10.31388/2078-0877-2020-20-4-91-105.

9. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А. Дослідження динамічних характеристик мехатронних систем з гідралічним приводом. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 58–72. Doi:10.31388/2078-0877-2020-20-4-58-72.

10. Корогодський В., Криштоп С., Мігаль В., Роговий А. та ін. Визначення характеристик раціонального регулювання складу паливно-повітряної суміші в двотактному двигуні з внутрішньою карбюрацією. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2020. Вип. 2. № 5. С. 39–52.

11. Гайдамака А., Кулик Г., Французов В., Гречка І. та ін. Розробка інженерної процедури для розрахунку пластичності роликів підшипника при нецентральному радіальному навантаженні. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2019. Вип. 3. № 7(99). С. 6–10.

12. Bondarenko M., Tkachuk M., Grabovskiy A. and Hrechka I. Substantiation of Thin-Walled Structures Parameters Using Nonlinear Models and Method of Response Surface Analysis. *International Journal of Engineering*. 2019. № 44. P. 32–43.

13. Атрошенко О., Ткачук М., Мартиненко О., Ткачук М. та ін. Дослідження впливу багатокомпонентного навантаження на тонкостінні конструкції з болтовими з'єднаннями. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2019. Вип. 1. № 7(97). С. 15–25.

14. Ткачук М., Грабовський А., Ткачук М., Саверська М., Гречка І. Напіваналітичний метод аналізу контактної взаємодії конструктивних елементів вздовж вирівняних поверхонь. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2020. Вип. 1. № 7(103). С. 16–25.

15. Marchenko A., Tkachuk M., Kravchenko S., Tkachuk M. and



Parsadanov I. Experimental Tests of Discrete Strengthened Elements of Machine-Building Structures. *Advanced Manufacturing Processes Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. P. 559–569.

16. Ткачук М., Грабовський А., Ткачук М., Гречка І. та ін. Дослідження багатоконтактної взаємодії елементів зрізних штампов. *Східно-Європейський журнал передових технологій* 2019. Вип. 4. № 7(100). С. 6–15.

17. Rogovyi A., Khovanskyu S., Grechka I. and Pitel J. The Wall Erosion in a Vortex Chamber Supercharger Due to Pumping. *Abrasive Mediums Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. 2019. P. 682–691.

18. Корнилович С. А. Повышение контактной выносливости поверхностного слоя зубьев шестерен при их изготовлении и ремонте. *Омский научный вестник*. 2012. № 2 (110). С. 75–76.

19. Матвеевко А. М., Чаплыгин В. Я. Исследование условий возникновения кавитации в зазорах элементов конструкций аксиально-поршневых гидромашин. *Труды МАИ*. 2012. № 50. С. 1–14.

20. Руденко М. Г. О возможности возникновения кавитации в зубчатых передачах. *Вестник ИрГТУ*. 2009. № 3 (39). С. 69–71.

21. Косенок Б. Б. Разработка методики моделирования зубчатых передач на основе метода математического моделирования векторных замкнутых контуров. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11. № 3. С. 202–204.

22. Косенок Б. Б. Инвариантность векторных моделей в моделировании зубчатых передач. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. 2009. № 3(19). С. 157–161.

23. Николенко И. В., Рыжаков А.Н. Математическое моделирование рабочего процесса в гидроприводе на основе регулируемых аксиально-поршневых гидромашин. *Наука и Образование*. 2015. № 9. С. 17–31. Doi: 10.7463/0915.0812337.

24. Косенок Б. Б., Крючков А. Н., Родионов Л. В., Шахматов Е. В. Математическое векторное моделирование пульсаций подачи жидкости шестеренным качающим узлом. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11. №3. С. 257–262.

25. Михневич А. В., Михневич Н. Н. Исследование динамики жидкости в поршневых парах объемных гидромашин. *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого*. 2009. № 2. С. 64–68.

26. Maiti R. and Nagao M. Prediction of starting torque characteristics of epitrochoid generated orbital rotary piston hydraulic motors. *JSME international journal series c-mechanical systems machine elements and manufacturing*. 1999. Vol. 2. № 42. P. 416–426.

27. Dasgupta K., Mukherjee A. and Maiti R. Theoretical and



experimental studies of the steady state performance of an orbital rotor low-speed high-torque hydraulic motor. *Proceedings of the institution of mechanical engineer's part a-journal of power and energy*. 1996. № 6 (210). P. 423–429.

28. Furustig J., Almqvist A. and Pelcastre L. A strategy for wear analysis using numerical and experimental tools, applied to orbital type hydraulic motors *Proceedings of the institution of mechanical engineers part c-journal of mechanical engineering science*. 2016. Vol.12. № 230. P. 2086–2097.

29. Panchenko A., Voloshina A., Panchenko I., Titova O. and Pastushenko A. Reliability design of rotors for orbital hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 708 (1). P. 012017.

30. Xing K., Zhang Y. and Jin X. Performance analysis and experimental research of the orbital motor. *Proceedings of the seventh international conference on fluid power transmission and control*. 2009. P. 131–135.

31. Dasgupta K., Mukherjee A. and Maiti R. Estimation of critical system parameters that affect orbit motor performance-combining simulation and experiments. *Journal of manufacturing science and engineering-transactions of the ASME*. 1999. Vol. 2. № 121. P. 300–306.

32. Shah Y., Vacca A. and Dabiri S. A fast lumped parameter approach for the prediction of both aeration and cavitation in Gerotor pumps. *Meccanica* 2018. Vol. 1-2. № 53. P. 175–191.

33. Robison J. and Vacca A. Kinematic multi-objective optimization of circular-toothed gerotor pumps by genetic algorithm *Proceedings of the asme/bath symposium on fluid power and motion control. UNSP*. 2017. V001701A016.

34. Velev E. Study Cavitation Gerotor Motors Renewable. *Energies and Innovative Technologies*. 2016. P. 64–66.

35. Voronin S., Suranov A., Suranov A. The effect of carbon nanoadditives on the tribological properties of industrial oils. *Journal of Friction and Wear*. 2017. № 38(5). P. 359–363.

36. Воронін С. Розробка трибофізичних основ мастильної здатності рідкокристалічних присадок до базових олів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Вип. 3. № 7(75). С. 53–57.

37. Voronin S., Onopreychuk D., Stefanov V., Bashkatov Ye and Panchenko V. Reduction of construction duration by improving the anti-wear properties of power fluids in hydraulic drives of earth-moving machines. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7(4.3). P. 105–109.

38. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Shvornikova A., Baranov I. and others. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7(4.3). P. 240–245.



39. Rogovyi A., Khovanskyi S., Hrechka I. and Gaydamaka A. Studies of the Swirling Submerged Flow Through a Confuser. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. 2020. P. 85–94.
40. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*. 2018. № 163. P. 52–60.
41. Ding H., Lu J. and Jiang B. A CFD model for orbital gerotor motor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2012. Vol. 6 (15). №062006.
42. Yang D., Yan J. and Tong S. Flowrate Formulation of Deviation Function Based Gerotor Pumps. *Journal of Mechanical Design*. 2010. Vol. 132 (6) № 064503-5.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.

A. Panchenko¹, A. Voloshina¹, I. Panchenko¹, A. Voloshin²
¹ Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
² Melitopol Vocational College of TSATU

INFLUENCE OF THE DESIGN FEATURES OF THE DISTRIBUTION SYSTEM OF A PLANETARY HYDRO MOTOR ON THE CHANGE OF ITS FUNCTIONAL PARAMETERS

Summary

For active working bodies and running systems of self-propelled vehicles, high-torque low-speed hydraulic motors of gerotor, orbital and planetary designs are most often used. One of the main units that cause a decrease in the functional parameters of hydraulic motors is the working fluid distribution system, which creates a rotating hydraulic field. The hydraulic field is necessary for the movement of the inner rotor of these hydraulic machines. Experimental bench studies were carried out on a serial and modernized hydraulic motor of the PRG-22 series with a working volume of 160 cm³. Modernization of the hydraulic motor consisted in changing the geometric and functional parameters of the movable and fixed distributors. As a result of the research, an experimental bench was developed for testing hydraulic motors. A technique for conducting experimental studies of a unified series of planetary hydraulic motors has been developed. It has been established that an increase in the capacity of a hydraulic motor with a modernized distribution system makes it possible to increase the hydromechanical efficiency of the modernized hydraulic motor by 11...14 %, the volumetric efficiency by 2...4 %, and the total efficiency by 7...9 %. Studies of changes in the functional parameters of the planetary hydraulic motor found that in the speed range of 75 ... 550 min⁻¹, the torque developing by the serial hydraulic motor is 300...325 N·m and changes slightly (within 8 %), which is a sign of a rigid characteristic this hydraulic motor. Torque stability (within 1.5 %), developed by the upgraded hydraulic motor 370...375 N·m in the speed range 75...450 min⁻¹, confirms its tough performance.

Key words: experimental studies, planetary hydraulic motor, distribution system, efficiency, torque, shaft rotation frequency, working fluid consumption.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-2

УДК 631.333

В. В. Дідур¹, д.т.н. доц.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

О. В. В'юник², інж.

ORCID: 0000-0002-6413-5567

А. С. Комар², інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

¹Уманський національний університет садівництва²Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

e-mail: olga.viunyk@tsatu.edu.ua, тел.: (098)7240967

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

Анотація. Розвиток фермерських господарств з виробництва сільськогосподарської продукції нерозривно пов'язаний з хімізацією землеробства. У сучасних умовах при постійному подорожчанні добрив на тлі зростаючих вимог до якості виробленої продукції і застосування екологічно безпечних технологій оброблення сільськогосподарських культур особливо гостро постає питання про вибір раціональних способів внесення добрив. Всі застосовувані добрива можна умовно розділити на дві групи – органічні й мінеральні. Органічні добрива тваринного або рослинного походження часто називають повними, тому що в них утримуються три основних елементи живлення рослин: азот, фосфорна кислота й окис калію. До групи органічних добрив відносяться також бактеріальні й сидерати (зелені). Прийоми внесення мінеральних і органічних добрив відрізняються залежно від їхнього виду й форми, строків внесення, призначення, форми й характеру розміщення вогнищ живильних речовин у ґрунті.

Наукові дослідження й багаторічна практика вирощування сільськогосподарських культур доводять доцільність дробового внесення добрив не в один, а в кілька строків.

Розрізняють основне, стартове й підготовче внесення добрив. При основному використовують близько 60 %, стартовому 20 % і підготовчому 20 % загальної кількості добрив, запланованого під культуру в сівозміні.

У сівозміні добривами в першу чергу забезпечують провідні культури (озима пшениця, цукровий буряк, картопля тощо), інші використовують їхню післядію.

Основне добриво служить головним джерелом живлення рослин і забезпечує їх протягом всієї вегетації. Його вносять під глибоку оранку



восени або навесні при підйомі раннього пару.

За характером розміщення добрив щодо поверхні ґрунту розрізняють поверхнєве й внутрішньогрунтове, котре може бути як суцільним, так і локальним.

В роботі проаналізовано різні способи та технології внесення добрив в ґрунт; визначено оптимальні.

Ключові слова: добриво, живильний елемент, спосіб внесення, норма внесення, врожайність, аналіз.

Постановка проблеми. Розвиток фермерських господарств з виробництва сільськогосподарської продукції нерозривно пов'язаний з хімізацією землеробства. У сучасних умовах при постійному подорожчанні добрив на тлі зростаючих вимог до якості виробленої продукції і застосування екологічно безпечних технологій оброблення сільськогосподарських культур особливо гостро постає питання про вибір раціональних способів внесення добрив.

Аналіз останніх досліджень. Всі застосовувані добрива можна умовно розділити на дві групи – органічні й мінеральні.

Органічні добрива тваринного або рослинного походження часто називають повними, тому що в них утримуються три основних елементи живлення рослин: азот, фосфорна кислота й окис калію. До групи органічних добрив відносяться також бактеріальні й сидерати (зелені) [1, 2].

Мінеральні добрива одержують із природних мінералів, газів або ж з відходів промисловості (металургійної, хімічної). Це неповні добрива, тому що кожне з них містить зазвичай тільки один елемент живлення рослин: азот (азотні), фосфорну кислоту (фосфорні) або окис калію (калійні). Промисловість виготовляє мінеральні добрива як у твердому, так і в рідкому вигляді.

Прийоми внесення мінеральних і органічних добрив відрізняються залежно від їхнього виду й форми, строків внесення, призначення, форми й характеру розміщення осередків живильних речовин у ґрунті. [3, 4].

Формування мети статті. Метою дослідження є аналіз існуючих способів внесення добрив в ґрунт з метою визначення оптимальних технологій.

Основна частина. Складні добрива – особливий вид мінеральних добрив, що містять два або навіть три елементи живлення.

Вапно (у різних видах) і гіпс застосовують для вапнування й гіпсування ґрунтів, тобто для нейтралізації кислої реакції надмірно вологих ґрунтів або (гіпс) лужної реакції солонців.

Мікроелементи – з'єднання металів (солі й ін.), необхідних для розвитку й плодоносіння рослин. Їх вносять у ґрунт у дуже малих



кількостях.

У самих господарствах можна готувати суміші добрив як мінеральних, так і органічних з мінеральними (органомінеральні) [3, 5].

Гній – суміш твердих і рідких виділень сільськогосподарських тварин з підстилкою. У гної є всі, без винятку, живильні речовини, необхідні для рослин.

Розрізняють чотири види підстилкового гною: свіжий (солома в ньому ще не втратила природний колір і міцність), що напівперепрів (солома темно-коричнева, легко розривається), що перепрів (темна маса, у якій важко знайти солому) і перегній (одноманітна чорна пухка землиста маса).

У безпідстилковому гної зміст живильних речовин залежить від кількості води: при гідрозмиві воно менше (багато води), при механічному видаленні гною більше.

Гнойова рідота – дуже гарне азотно-калійне добриво, що швидко діє на рослини. Сеча тварин, що не вбралася в підстилку, стікає по жолобах і трубах у спеціальні рідотозбірники, звідки її вивозять в автоцистернах у поле для підгодівлі польових або городніх культур. В 1 т гнойової рідоти втримується в середньому 2,5 кг азоту, 5,5 кг калію, близько 0,1 кг фосфору.

Пташиний послід – швидкодіюче добриво з більшим вмістом азоту, фосфору й калію. Щоб зменшити втрати азоту, послід зберігають у суміші з торфом (до 25...50 % від маси посліду).

Торф також використовують як добриво. Його найбільш доцільно застосовувати не в чистому виді, а використаний як підстилка для тварин. Тоді він збагачується аміаком, а повітря скотарні очищається від аміачних виділень.

Компости – суміші гною, торфу, іноді землі з різними відходами й сміттям, що перепріли до стану сипучої (або напівсипучої) речовини. Компости як добрива дуже ефективні, тому що живильні речовини в них перебувають у формі, найбільш засвоюваній рослинами.

Зола стебел польових рослин, листяних і хвойних дерев і гною – коштовне добриво: воно містить значну кількість калію, фосфору, вапна, мікроелементів.

Річковий й ставковий мул – органічне добриво, що містить від 0,3 до 0,5 % азоту й 0,5...0,8 % фосфору. Мул звичайно заготовлюють узимку, навесні, після відтавання, він перетворюється в сипучу масу. Краще змішувати іл із гноєм (4:1) або із гнойовою рідотою, щоб збагатити його бактеріями.

Бактеріальні добрива – азотні (нітрагії й азотобактерії), фосфорні (фосфоробактерії) і суміші (АМБ – аутохтонна мікрофлора Б). Всі ці препарати самостійно в ґрунт не вносять, їх змішують із насіннями перед самим посівом і висівають звичайними зернобобовими



сівалками.

Тверді азотні добрива – аміачна селітра, ціанамід кальцію, нітрат амонію, натрієва селітра, хлористий амоній і карбамід (сечовина). Азоту ці добрива містять від 12 до 46 %. Найбільш багаті азотом сечовина й аміачна селітра.

Рідкі азотні добрива – рідкий аміак (до 82 % азоту), аміачна вода й аміакати (до 45 % азоту). Рідкий (безводний) аміак є зрідженим газом, це – летюча й отруйна речовина, його перевозять і зберігають в особливих цистернах, розрахованих на тиск 2 МН/м², і вносять у ґрунт на значну глибину. Більш зручна в обігу аміачна вода (25%-ний розчин аміаку), що містить до 20 % азоту.

Фосфорні добрива – суперфосфат, подвійний суперфосфат, фосфатне борошно, томасшлак, преципітат і ін. Усі ці добрива сипучі, порошкоподібні або гранульовані. Вміст у них основної живильної речовини (фосфорної кислоти) коливається від 14 до 45 %. Найбільш багаті нею подвійний суперфосфат і преципітат [5].

Калійні добрива – хлористий калій, 30...40 %-ні калійні солі, сірчаноокислий калій, калімаг, калімагnezія й ін. Зміст окису калію у них коливається від 12 до 60 %. Найбільше її в хлористому калії. У таблиці 1 наведена характеристика основних живильних речовин, необхідних для оброблення сільськогосподарських культур.

Таблиця 1

Характеристика основних живильних речовин

Живильний елемент	Дія на рослину	Симптоми		Наявність	
		при нестачі	при надлишку	у природі	на ринку
1	2	3	4	5	6
Азот (N)	Забезпечує сильний ріст	Пожовклі листя, низька врожайність	Погіршення збереженості овочів і фруктів, більша схильність до хвороб і шкідників, високий вміст води та нітратів у продуктах	Близько 80% утримується в повітрі, що може зв'язатися клубеньковими бактеріями. В органічній формі знаходиться в рослинних залишках, сидератах, компості, гної	Кров'яне борошно або стружка, компост, свиняча щетина



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Фосфор (Р)	Сприяє утворенню квіток і плодів, прискорює дозрівання, важливий для росту коріння на весні	Фарбування в колір від фіолетового до червоно-коричневого	Блокування мікроелементів, наприклад заліза, міді й цинку	Сирий фосфат, кості, курячий послід, свинячий гній або гнойова рідота	Гіперфосфат, кісткове борошно, водоростевий фосфат, висушений курячий або перепелиний послід, томасфосфат
Калій (К)	Підсилює ріст, підвищує міцність клітинної тканини, стійкість до холоду й опірність рослин до інших несприятливих факторів	Поганий ріст, фарбування листової облямівки в жовто-червоний колір, погіршення смакових якостей овочів і фруктів	Поганий ріст і врожай	Будь-які екскременти тварин, особливо гнойова рідота, деревна зола, гранітний пил, окремі види базальтового пилу, компост із листя, папороті й окопника аптечного, природні калійні соки	Калімагнезія (26 % калію, 5 % магнію), деревна зола, окремі види базальтового пилу
Кальцій (Са)	Активізує діяльність ґрунтових організмів, усуває кислотність, важливий для міцності рослинної тканини	Висока кислотність ґрунту, погана структура, низькі врожаї поганої якості	Швидке розкладання гумусу, потрібне додаткове внесення органічного матеріалу в більших кількостях, занадто висока кислотність ґрунту	Доломіт, мармур, водоростевий вапняк, крейда	Вапняний туф, водоростевий вапняк, мелений томасшлак



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Магній (Mg)	Активізує діяльність ензимів при утворенні білка, важлива складова частина хлорофіла	Висока кислотність ґрунту, низькі врожаї низької якості		Деревна зола, серпентиніт, водоростеві продукти	Калімагnezія, продукти з водоростей

Живильний елемент Калій (K), Кальцій (Ca), Магній (Mg). Мікроелементи, необхідні для рослин – це мідь, бор, марганець, молібден, кобальт, цинк і ін. Тому що кількість мікродобрив, внесених на 1 га, дуже невелика, то їх самостійно не вносять, а для рівномірного розподілу в ґрунті змішують перед внесенням з іншими добривами або із сухою землею, піском, золою, сухим торфом.

Вапняні добрива застосовуються для усунення кислотності ґрунту, шкідливої як для самих рослин, так і для ґрунтових бактерій. До складу підгрупи вапняних добрив входять вапно, вапнякове борошно, доломітове борошно, сланцева й торф'яна зола, цементний пил. Всі вапняні добрива залежно від помелу й вмісту вологи діляться на дві групи: пилоподібні й слабопилоподібні. Для кожної групи – свій спосіб внесення в ґрунт. Їх нерідко використовують у суміші із гноєм або компостом.

Складні мінеральні добрива виготовляє хімічна промисловість. Вони можуть бути твердими й рідкими. Тверді – амонізований суперфосфат, амофос, діамфос, калійна селітра, потазот (хлористий калій і амоній), нітрофоска, азофоска (повні мінеральні добрива). З рідких добрив випускаються рідкі комплексні добрива (ЖКУ марок 10-34-0, 8-24-0 і 11-37-0), розчин карбаміду й аміачної селітри (КАС-28, КАС-30 і КАС-32), рідкий і водний аміак.

Суміші мінеральних добрив можна виготовити в господарствах, якщо дотримуватися певної схеми. Не можна змішувати будь-які селітри із суперфосфатом (виходить сира мастка суміш) і аміачне добриво з томасшлаком (губиться багато аміаку). Аміачну селітру можна змішувати із суперфосфатом тільки після його нейтралізації золою, гашеним вапном, крейдою, вапняком. Спочатку суперфосфат змішують із цими речовинами, а потім із селітрою [6]

Розроблено процес рідкого тукозмішання, у результаті якого можна приготувати розчини суспензій із заданим співвідношенням живильних речовин. Якість сумішей добрив, приготованих з урахуванням правил змішування, не погіршується, і їх можна вносити



в ґрунт машинами.

Норми внесення добрив залежать від їхнього виду, вмісту діючої речовини, родючості ґрунту, часу й способу внесення, виду сільськогосподарських культур та ін.

Тверді органічні добрива вносять із розрахунку на 1 га: гною при суцільному внесенні 30...40 т, при місцевому – 10...15, торфофекалій – 15...30, гнойової рідоти – 3...5 т, пташиного посліду сухого - 8...10 ц, рідкого – 3...5 ц, компосту – до 20 т, торфомінерально-аміачного добрива (ТМАУ) – звичайного до 40 т, концентрованого – 5...10 т. Для родючих чорноземних ґрунтів ці норми можуть бути зменшені вдвічі.

Межі коливань кількості живильної речовини, внесеного під певну культуру, відносно невеликі, а норми внесення того або іншого добрива на гектар набагато більше, що пояснюється вмістом живильної речовини у добриві. Приблизні норми внесення добрив при різних способах наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Норми внесення деяких мінеральних добрив

Добрива	Норми добрив, ц/га		
	Розкидне внесення (основне)	Рядкове внесення	Гніздове внесення
Сульфат амонію	0,3...3,0	0,5...2,0	0,4...2,0
Аміачна селітра	0,7...2,0	0,4...1,0	0,4...1,0
Суперфосфат	1,5...4,0	0,6...1,5	0,5...1,5
Хлористий калій	0,5...1,5	0,2...1,2	0,2...0,6
Зола	6,0...10,0	До 3,0	-
Вапно	20,0...60,0	-	3,0...11,0

При експлуатації машин для внесення в ґрунт рідких азотних добрив необхідно знати їхню щільність і питомий об'єм (таблиця 3)

Таблиця 3

Щільність і питомий об'єм рідких азотних добрив

Показники	Безводний аміак	Аміакати	Водний аміак (25 %)
Щільність при температурі 15°C, кг/м ³	0,630	1,075...1,240	0,910
Питомий об'єм, м ³ /кг	1,587	0,930...0,806	1,099
Вміст азоту в 1 м ³ , кг	518,3	275.....400	186,6

Мікродобрива вносять у ґрунт у наступних кількостях: бор у вигляді бури, борної руди та ін. – 1...1,5 кг/га, мідь у вигляді піритних



недогарків – 5...8 ц/га, а у вигляді мідного купоросу – від 20 до 25 кг/га, марганець у вигляді шламів і марганезованного суперфосфату – 0,5...2 ц/га, у вигляді сірчаноокислого марганцю – від 10 до 15 кг/га, молибден у вигляді молибденоокислого амонію – 25 м на 1 ц насіння, цинк у вигляді сірчаноокислого цинку (для позакореневої підгодівлі) – 5...10 кг/га.

Вапно вносять у кількості від 2 до 5...7 т/га, а якщо його в господарстві мало, то вроздріб, малими дозами – 0,5...1,5 т/га. Норма внесення сланцевої й торф'яної золи 4...6 т/га. У зазначених кількостях вапно потрібно вносити один раз в 10...12 років.

Органомінеральні суміші під зернові культури вносять 5...6 т/га, а під кукурудзу, цукровий буряк, овочі й інші просапні – до 10...15 т/га. Важливою умовою одержань високих урожаїв є одночасне застосування органічних і мінеральних добрив.

Наукові дослідження й багаторічна практика вирощування сільськогосподарських культур доводять доцільність дробового внесення добрив не в один, а в кілька строків.

Розрізняють основне, стартове й підгодовче внесення добрив. При основному використовують близько 60 %, стартовому 20 % і підгодовчому 20 % загальної кількості добрив, запланованого під культуру в сівозміні.

У сівозміні добривами в першу чергу забезпечують провідні культури (озима пшениця, цукровий буряк, картопля тощо), інші використовують їхню післядію.

Основне добриво служить головним джерелом живлення рослин і забезпечує їх протягом всієї вегетації. Його вносять під глибоку оранку восени або навесні при підйомі раннього пару.

Як основне добриво використовують гній, компости, різні сидерати й інші органічні матеріали [7–10]. З мінеральних вносять фосфорні й калійні добрива. Нітратні форми азотних добрив легко вимиваються, тому їх краще використовувати незадовго до посіву, а амонійні й аміачні форми (сульфат амонію, сечовина, аміачна вода) добре поглинаються ґрунтом, їх можна вносити і як основне добриво з осені.

Основне добриво підвищує врожаї не тільки першої культури, але й наступних. Гній, внесений з розрахунку 20...30 т на 1 га, діє 4...7 років і більше залежно від його якості й дози, агротехніки, ґрунтових умов. Приблизно стільки ж часу діють і гарні компости. Вплив мінеральних добрив спостерігається до трьох років, що також залежить від ґрунтових умов і доз внесення туків [11].

За характером розміщення добрив щодо поверхні ґрунту розрізняють поверхневе й внутрішньогрунтове, котре може бути як суцільним, так і локальним.



Поверхнєве суцільне внесення припускає рівномірний розподіл добрив по поверхні ґрунту туковими сівалками, сільськогосподарською авіацією, машинами для поверхневого внесення твердих і рідких мінеральних і органічних добрив.

При поверхневому локальному внесенні добрива розкидають на поверхні ґрунту концентрованими осередками, переважно у вигляді стрічок різної ширини, після чого зашпаровують у ґрунт різними ґрунтообробними знаряддями. Не забитими добрива залишаються тільки при підгодівлі посівів сільськогосподарських культур, а також косовиць і пасовищ.

При внутрішньогрунтовому внесенні добрива зашпаровують різними вогнищами на задану глибину, при внутрішньогрунтовому суцільному – з одночасним перемішуванням добрив і певного обсягу ґрунту за один прохід машини.

Рідкі мінеральні добрива можуть вноситися також у вигляді повітряно-аерозольних сумішей, що має свої позитивні сторони. Внесене безпосередньо в шар ґрунту повітря виконує одночасно кілька функцій: розширює міжґрунтовий простір, разносячи живильні речовини по порах, знижує концентрацію добрив, одночасно примусово аерує ґрунт. Аерозольна суміш не робить механічних впливів на кореневу систему рослин (при внесенні добрив разом з міжрядною обробкою), а зона її поширення в ґрунті в кілька разів більше, ніж при звичайному локальному внесенні добрив. При аерозольному способі внесення в 1,3...1,5 рази підвищується коефіцієнт використання добрив, виключається строкатість травостою, на 15 % підвищується збільшення врожаю в порівнянні з поверхневим способом і на 8 % – локально-стрічковим.

Недоліком *поверхневого суцільного* внесення мінеральних добрив є зайва витрата при посіві. Однак ці способи добре використовують при основній і передпосівній обробці ґрунту.

При *поверхневому локальному* внесенні добрива, на відміну від попереднього способу, добрива вносяться у вигляді стрічок різної ширини, що робить не бажаним його використання при основній і передпосівній обробці ґрунту. Використовується при підгодівлі рослин.

Внутрішньогрунтове внесення добрив не дозволяє використати даний метод при підгодівлі рослин, а також робить небажаним використання при основній обробці ґрунту. Цей спосіб є оптимальним при посіві.

В умовах сучасної економічної політики у фермерських господарствах найбільш раціональним є *локальне* внесення рідких добрив. Воно дозволяє збільшити врожай зернових культур у середньому на 2...5 ц/га, картоплі – 20...50, кормових і силосних



культур – 20...40, насіння соняшника й сої – на 2...3 ц/га. Крім того, на 10...15% підвищується коефіцієнт використання живильних речовин добрив, скорочуються їхні втрати із ґрунту й засміченість посівів.

Локальне внесення може бути як поверхневим, так і внутрішньогрунтовим.

Прийоми *поверхневого локального внесення* різноманітні, але модифікації його досліджені поки недостатньо, щоб повсюдно застосовувати їх з максимальним ефектом. Найбільш докладно в нашій країні й за кордоном вивчений *стрічковий спосіб*.

Установлено, що ґрунт, що оточує стрічку добрив, сильно насичується живильними речовинами. При дозах добрив 50...100 кг/га концентрація рухливого фосфору в ній може досягати 600 мг, амонійного азоту й обмінного калію – 200 мг на 100 м ґрунту.

Ефективність стрічкового способу внесення добрив відображена в таблиці 4.

Висока концентрація солей у стрічці добрив визначає специфічний характер взаємодії їх із ґрунтом і коріннями рослин. Фосфор довше зберігається в рухливому стані. Калій і амонійний азот менше піддаються необмінній фіксації ґрунтом. Навколо стрічки добрив зростає осмотичний тиск і різко змінюється рН ґрунтового розчину, тим самим створюються несприятливі умови для життєдіяльності ґрунтової мікрофлори. У результаті живильні речовини менше зв'язуються мікроорганізмами, уповільнено протікає нітрифікація амонійного азоту.

Таблиця 4

Вплив способів внесення добрив на врожайність сільськогосподарських культур, (доза добрив: N₄₀ P₆₀ K₄₀), ц/га

Варіанти	Ячмінь	Кукурудза	Соняшник	Озима пшениця	Просо
Без добрива	15,1	28,2	18,2	24,0	21,6
НРК врозкид під плуг	+5,1	+4,3	+3,1	+7,3	+5,5
НРК врозкид під культиватор	+6,1	+3,8	+2,5	+7,4	+6,9
НРК стрічками перед посівом	+7,9	+5,3	+4,4	+10,0	+9,1

Стрічкове внесення добрив обумовлює диференціацію функцій окремих ділянок кореневої системи рослин. Стрічка добрив пронизується й переплітається густою сіткою коріння і корневих волосків. Ця невелика по обсягу частина кореневої системи забезпечує інтенсивне надходження живильних речовин у рослини. Корінь, розташований між стрічками добрив, проникає глибоко в підґрунті



обріі й постачає рослини вологою. При розкидному ж внесенні добрив всі коріння розвиваються переважно в удобреному шарі. У пошуках харчування рослини непродуктивно витрачають енергетичні ресурси на формування великої кореневої системи на шкоду продуктивним надземним органам.

До стрічкового внесення добрив пред'являється ряд специфічних вимог. Насамперед, висококонцентровані стрічки добрив не можна розташовувати в контакті з насінням або занадто близько до нього. Неприпустимо й надмірне віддалення стрічок добрив від насіння або поділ їх більшими інтервалами. Залежно від глибини внесення, рівномірності розташування часток добрива, відстані між місцем внесення й місцем знаходження активної частини кореневої системи добриво може або виявитися досить ефективним, або не дати ніякого збільшення врожаю, а то й знизити його стосовно контролю.

До основних способів *внутрішньогрунтового локального* внесення добрив відносять *рядковий, основний (стрічковий) і гніздовий, міжрядний, кореневу підгодівлю, локально-об'ємний спосіб і ін.*

Рядковий спосіб забезпечує внесення стартової дози переважно мінеральних фосфорних добрив при посіві або посадці сільськогосподарських культур разом з насінням або на певній відстані від нього.

При *стрічковому способі* основну дозу мінеральних добрив вносять у ґрунт у вигляді суцільних або переривчастих стрічок шириною 3...10 см. По строках виконання розрізняють допосівне й припосівне стрічкове внесення добрив. Різновид стрічкового внесення – екранний, при якому основну дозу добрив вносять на певну глибину стрічками у вигляді суцільного екрана. Його проводять звичайно одночасно із плоскорізною обробкою ґрунту.

Гніздовий спосіб передбачає внесення основної дози добрив концентрованими осередками (гніздами) різних форм і розмірів, орієнтованими щодо насіння (бульб) або рослин (розсади).

При *міжрядній підгодівлі* добрива вносять стрічками або об'ємними стрічками (рідкі мінеральні добрива, безводний і водний аміак, розчини й суспензії й ін.) під тиском, при якому вони поширюються на певну відстань від місця внесення у вигляді об'ємних стрічок різних форм і розмірів у міжряддя просяпних культур у період вегетації.

Коренева підгодівля припускає внесення добрив (переважно азотних) стрічками на певну глибину поперек рядків рослин навесні на посівах озимих зернових культур [4].

Висновок. На підставі результатів аналізу різних технологій внесення добрив оптимальними технологіями є *локальне поверхневе та внутрішньогрунтове* внесення рідких мінеральних добрив.



Список використаних джерел

1. Skliar O., Boltianska N. Basic methods of preparation of organic fertilizer from quail manure. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: мат. III Міжнар. наук.-практ. інт.-конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021 С. 168–171.
2. Luo, J. et al. Application of bio-organic fertilizer significantly affected fungal diversity of soils. *Soil Science Society of America Journal* 74, 2039 (2010).
3. Misselbrook T., Bittman S., Cordovil C., Rees B., Sylvester-Bradley R., Olesen J., Vallejo A. Field application of organic and inorganic fertilizers and manure. Discussion at the workshop on integrated sustainable nitrogen management, Brussels 30 September – 1 October 2019. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/field_application_of_organic_and_inorganic_fertilizers_23sep19.pdf
4. Лісовал А. П., Макаренко В. М., Кравченко С. М. Система застосування добрив. К.: Вища школа, 2002. 317 с.
5. Pare M. C., Allaire S. E., Khiari L., Parent L.-E. Improving physical properties of organo-mineral fertilizers: substitution of peat by pig slurry composts. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 26(3): 447–454 E 2010 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542
6. Simpson R. J. et al. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant and Soil* 349, 89–120 (2011).
7. Комар А.С. Щодо утилізації органічних відходів тваринництва. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: мат. II Всеукраїн. наук.-практ. інт.-конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74–76.
8. Болтянська Н. І. Варіанти застосування безпідстилкового перепелиного посліду як добрива. Матеріали МНПК «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв». Харків: ДБТУ, 2021. С. 475–478.
9. Комар А. С. Основні способи переробки перепелиного посліду в органічне добриво. Збірн. тез доповідей XXII Міжнар. наук. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки». Київ. Ніжин. 2021. С. 76–79.
10. Комар А. С. Цінне органічне добриво з відходів птахівництва та рослинництва. Мат. XV Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «Науковий прогрес у тваринництві та птахівництві». Харків: Інститут тваринництва НААН. 2021. С. 60–63.
11. Adesemoye A. O. & Kloepper J. W. Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85, 2009. P. 1–12.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.



V. Didur¹, O. Viunyk², A. Komar²

¹Uman National University of Horticulture

² Dmytro Motornyi Tavriya State Agrotechnological University

ANALYSIS OF METHODS OF FERTILIZER APPLICATION

Summary

The development of agricultural farms is inextricably linked to the chemicalization of agriculture. In modern conditions, with the ever-increasing cost of fertilizers against the background of growing demands on the quality of products and the use of environmentally friendly technologies for crop production, the question of choosing rational methods of fertilizer application is particularly acute. All applied fertilizers can be divided into two groups – organic and mineral. Organic fertilizers of animal or vegetable origin are often called complete because they contain three basic plant nutrients: nitrogen, phosphoric acid and potassium oxide. Bacterial and green manures (green) also belong to the group of organic fertilizers. Methods of application of mineral and organic fertilizers differ depending on their type and form, timing of application, purpose, form and nature of the location of nutrient cells in the soil. Scientific research and long-term practice of growing crops prove the feasibility of fractional application of fertilizers not in one but in several terms. There are basic, initial and preparatory fertilization. At the basic application use about is 60 %, initial is 20 % and preparatory is 20 % of the total amount of fertilizers planned for crop rotation. In crop rotation, fertilizers are primarily provided by leading crops (winter wheat, sugar beet, potatoes, etc.), while others use their aftereffects. The basic fertilizer is the main source of nutrition for plants and provides them throughout the growing season. It is applied under deep plowing in autumn or spring when raising early steam. According to the nature of the placement of fertilizers relative to the soil surface, a distinction is made between surface and intrasoil, which can be both continuous and local. The paper analyzes various methods and technologies of fertilizing the soil; determining the optimal.

Keywords: fertilizer, nutrient, method of application, application rate, yield, analysis.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-3

УДК 681.5

В. Г. Федоров¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-4453-4122

О. І. Кепко², к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1443-307X

В. М. Кепко³, к.е.н. доц.

ORCID: 0000-0001-6432-7211

¹Професор-консультант²Уманський національний університет садівництва³Білоцерківський національний аграрний університет

e-mail: kerpko@meta.ua, тел.: (063)0499929

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТРАНЗИТНОГО КАЛОРИМЕТРА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. Застосування методу транзитної калориметрії дає змогу поглибити знання про нечіткий фазовий перехід в молочних продуктах, уточнити інформацію про технологічні та теплофізичні характеристики продуктів, встановити зв'язки між ними, зменшити енергетичні та матеріальні ресурси на одиницю готової продукції. Автоматизація транзитного калориметра, що належить до теплометричних калориметрів та працює в скануючому режимі дає можливість не тільки підвищити точність комплексного вимірювання теплофізичних характеристик лабільних матеріалів, а й одержати принципово нову інформацію – встановити функціональний зв'язок між жирністю і теплопровідністю вершків, гістерезис теплоємності молочного жиру тощо. Різде зменшення випадкових похибок за рахунок автоматизації калориметра призвело не тільки до підвищення точності визначення ТФХ, а й до отримання нової інформації. Таким чином, в результаті досліджень вдалося вирішити «зворотну» задачу – встановити залежність жиру від теплопровідності, близьку до функціональної. Це важливо для молочної промисловості, оскільки теплопровідність можна визначити набагато швидше, ніж жир. Також встановлено, що теплоємність молочного жиру в інтервалі температур активних фазових перетворень залежить від того, чи нагрівається, чи охолоджується молочний жир. Це може призвести до виправлення довідкових даних. Порівняно проста схема автоматизації калориметричних установок полегшила роботу оператора, підвищивши точність вимірювань, дозволила отримати принципово нову інформацію. Її можна використовувати в інших пристроях, коли



первинні перетворювачі виробляють невеликі сигнали постійного струму.

Ключові слова. Автоматичне управління, теплофізичні характеристики, молочний жир, теплоємність, фазовий перехід, транзитна колориметрія, тепломір.

Постановка проблеми. При дослідженні теплофізичних характеристик ТФХ підтримання стаціонарних та перехідних режимів ручним керуванням планіметруванням з виконанням вимог квазістаціонарного метода вручну приводить до появи, крім систематичної ще й і випадкових похибок, які почасти не вкладаються до їх нормального розподілу. В зв'язку з цим виникає необхідність підвищення точності вимірювань шляхом автоматизації процесу вимірювання ТФХ.

Аналіз останніх досліджень. Базовими елементами транзитного калориметра є тепломіри – малогабаритні малоінерційні датчики густини теплового потоку q , Вт/м², розроблені в Україні [1], які тепер застосовуються в багатьох країнах світу, причому їх товщина від 1-2 мм доведена до кількох мікрометрів [2, 3].

Транзитний калориметр ТК [3] для комплексного вимірювання основних теплофізичних характеристик ТФХ твердих, пастоподібних, рідких, зернистих матеріалів, які можна сформувати у вигляді плоского шару. По обидві сторони шару один навпроти другого розташовують два тепломіри з термopарами, що контактують з поверхнею шару [4].

Формування мети статті. Автоматизувати процес визначення ТФК шляхом використання транзитного калориметра для комплексного вимірювання теплофізичних характеристик молочних продуктів.

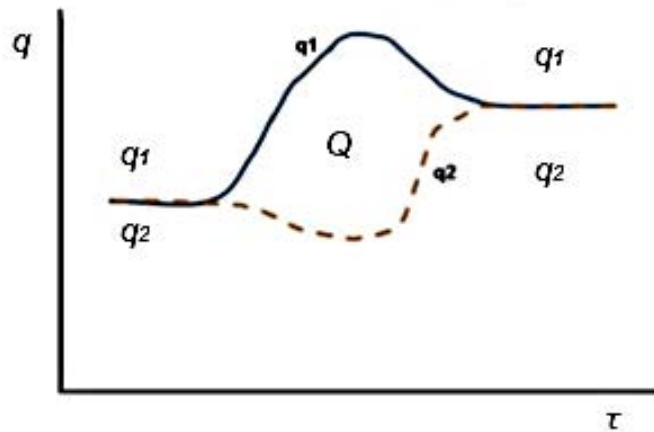
Основна частина. За умови стаціонарного теплового потоку, нормального до цих поверхонь, сигнали тепломірів $q_1 = q_2 = q$, це дає можливість визначати теплопровідність λ , Вт/(м·К) зразка:

$$\lambda = q/\Delta t \quad (1)$$

де: $\Delta t = t_1 - t_2$ – різниця температур на поверхнях зразка.

Якщо між двома стаціонарними режимами зробити збурення по q або t (на рис. 1 різким збільшенням q_1) та фіксувати q_1 , q_2 , t_1 і t_2 то одержимо замкнуту поверхню Q , Дж/м²

$$Q = \int (q_1 + q_2) dt \quad (2)$$

Рисунок 1. Зміна q_1 , та q_2 , (цикл) для колориметра із ТК-ТК

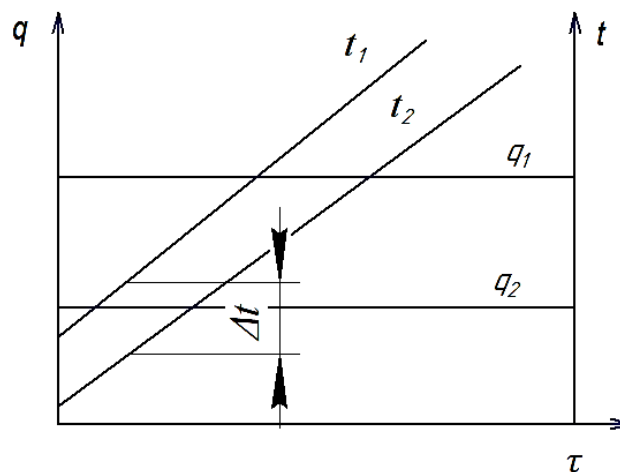
Це дає можливість підрахувати об'ємну теплоємність C_v , Дж/(м³·К)

$$c_v = \frac{Q}{h \cdot \delta \cdot t} \quad (3)$$

де: h – товщина зразка.

Оскільки новий стаціонарний режим може служити початком нового циклу, маємо можливість за один дослід вимірювати λ та c_v в залежності від температури зразка, що є важливим для лабільних матеріалів. Температуропровідність $\alpha = \lambda/c_v$ та теплову активність $b = \sqrt{\lambda \cdot c_v}$ одержуємо розрахунком.

Більш швидкісним виявився квазістаціонарний режим калориметра (регулярний режим другого роду), коли виконується умова $q_1/q_2 = const$ (рис. 2). Для цього необхідно, наприклад, підтримувати $q_1 = const$ або температури поверхонь лінійно змінювати в часі [5].

Рисунок 2. Зміна q та t у квазістаціонарному режимі

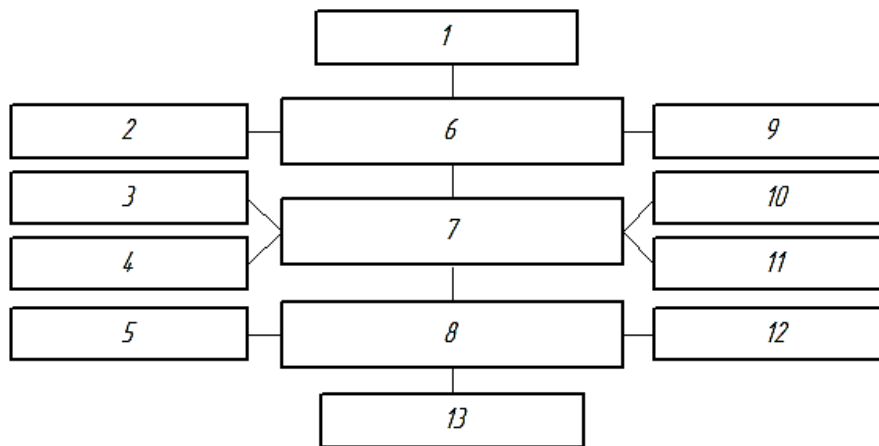
Безперервний запис q_1 , q_2 , t_1 та t_2 , дає можливість в будь який момент досліду обчислити обидві ТФХ:

$$\lambda = \frac{(q_1 + q_2)h}{2\Delta t}; \quad c_v = \frac{q_1 - q_2}{u\alpha}; \quad (4)$$

де: $u = \delta t / (\tau_2 - \tau_1)$ – швидкість зміни температури поверхонь зразка.

Будь який ТК складається з трьох блоків (рис. 3): підведення та відведення теплової енергії і вимірювального блока. В блоках підведення теплоти використовується термостатована камера та електронагрівник або інфрачервоне джерело, в блоках відведення – ТК, термостатована пластина або напівпровідниковий термостат. Схема приладу з двома ТК наведена на рисунку 4.

Роботу установки із ТК-ТК (рис. 4) автоматизовано шляхом її сполучення із комп'ютером (рис. 5). Для цього використані: серійний агрегатний комплекс К484, що складається із таймера Ф4849 2, комутатора Ф4840 3 та транскриптора Ф4845 4, а також вольтметра Ф283/2М(5). Цей комплекс під'єднали до блока узгодження, та передавання інформації Б01-10 6 розробленого спеціалістами НВЛ «Технополіс».

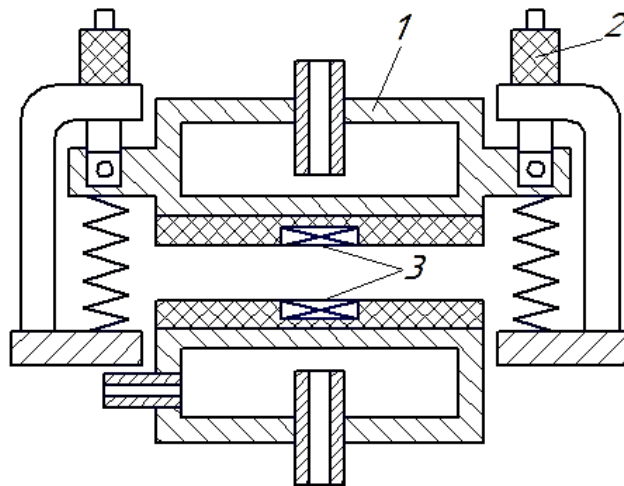


1, 13 – регулювання; 2, 5 – термостатування; 3 – механічне навантаження; 4 – товщина шару; 6 – підвищення температури; 7 – вимірювання; 8 – відведення теплоти; 9, 12 – живлення; 10 – густина теплового потоку; 11 – температура.

Рисунок 3. Блок-схема приладів для вимірювання ТФХ

На вхід транскриптора подавались сигнали термомірів e_q та від термопар e_t , мВ.

На комутаторі встановлюють перелік каналів опитування: q_1 , q_2 , t_1 , t_2 , Δt та кількість вимірювань. За допомогою таймера задаються проміжки часу між записами каналів та вимірюванням електричних сигналів, після чого обчислювально-порівняльний комплекс



1 – термостатована камера; 2 – регулятор механічного навантаження; 3 – тепловіри з термопарами.

Рисунок 4. Схема калориметра з ТК-ТК

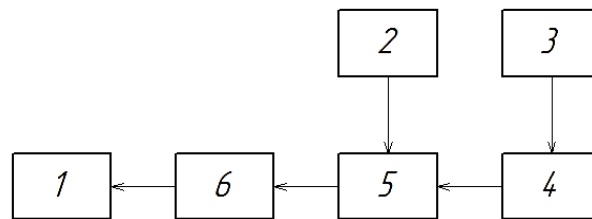


Рисунок 5. Структурна схема автоматизації калориметра

підключають до мережі. Діалог калориметра із ПК має зворотній зв'язок. Наприклад, якщо відхилення q_1 , чи q_2 від постійних значень перевищує дозволений рівень, подається звуковий сигнал, обчислення ТФК зупиняється.

Різке зменшення випадкових похибок внаслідок автоматизації калориметра привело не тільки до підвищення точності визначення ТФХ, але й до отримання нової інформації. Так, в роботі [6] де досліджували залежність ТФХ вершків від жирності \mathcal{J} , при цьому вдалося розв'язати «інверсну» задачу – встановити залежність жирності від λ , близьку до функціональної. Це важливо для молочної промисловості, оскільки визначити λ можна значно швидше, ніж \mathcal{J} . Встановлено також, що теплоємність молочного жиру МЖ в температурному діапазоні активних фазових перетворень [7] залежить від того, нагрівається МЖ або охолоджується [8, 9]. Це може привести до корекції довідникових даних [10].

Висновок. Порівняно проста схема автоматизації калориметричних установок полегшила працю оператора, збільшивши точність вимірювань, дала можливість одержати принципово нову інформацію. Її можна використовувати в інших приладах, коли



первинні перетворювачі виробляють малі сигнали постійного струму.

Список використаних джерел

1. Датчик для измерения локальных тепловых потоков: пат. 159048 СССР: G01K 17/08. № 793219/26-10; заявл. 01.09.1962; опубл. 22.11.1963, Бюл. № 23. 58 с.
2. Knauss H., et al. Novel Sensor for Fast Heat Flux Measurements. AIAA. 2006. No. 3637. 32 p. URL: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.32011?journalCode=jsr>.
3. Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції: Методика М 00013184.5.023-01 / Розробники : Т.Г. Грищенко та ін. Київ : ЛОГОС, 2002. 131 с. ISBN 966-581-354-4.
4. Wang Y. et al. Effect of Melting Point on the Physical Properties of Anhydrous Milk Fat. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2017. Vol. 274. №. 1. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/274/1/012072/meta>
5. Upadhyay N. et al. Detection of adulteration by caprine body fat and mixtures of caprine body fat and groundnut oil in bovine and buffalo ghee using differential scanning calorimetry. *International Journal of Dairy Technology*. 2017. Vol. 70, №. 2. P. 297–303. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12336>
6. Керко В. М. та ін. Використання кореляції товарознавчих і теплофізичних характеристик вершків для їх експертизи. *Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland: International Multidisciplinary Conference*, м. Wolomin, 19–20 жовт. 2018 р. Wolomin, 2018. С. 102–106. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/2775>
7. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П. Фазовые переходы в молекулярных кристаллах дикарбоновых кислот. *Физика твёрдого тела*. 2013. Т. 55, № 5. С. 975–980. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/1039>
8. Fedorov V. G. et al. Study of blurring and hysteresis of phase transformations of milk fat by transit calorimetry method. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 2020. No. 12(3). P. 105–118. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/7575>
9. Tolstorebrov I., Eikevik T.M., Bantle M. A DSC determination of phase transitions and liquid fraction in fish oils and mixtures of triacylglycerides. *Food research international*. 2014. Vol. 58. P. 132–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.064>
10. Федоров В. Г. та ін. Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК: довідник. Умань: Редакц.-вид. від. УНУС, 2014. 352 с. URL: <http://www.lib.udau.edu.ua/handle/123456789/2762>



Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.

V. Fedorov¹, O. Kepko², V. Kepko³

¹Professor-Consultant

²Uman National University of Horticulture

³Bila Tserkva National Agrarian University

AUTOMATION OF A TRANSIT CALORIMETER FOR INTEGRATED MEASUREMENT OF THE MAIN THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF DAIRY PRODUCTS

Summary

The application of the transit calorimetry method makes it possible to deepen the knowledge about the fuzzy phase transition in dairy products, clarify information about technological and thermophysical characteristics of products, establish links between them, reduce energy and material resources per unit of finished product. Maintenance of stationary and transient modes by manual control before the appearance, in addition to the systematic and random errors, which often did not fit into their normal distribution. Automation of transit calorimeter, which belongs to thermometric calorimeters and works in scanning mode, allows not only to increase the accuracy of complex measurement of thermophysical characteristics of labile materials, but to obtain fundamentally new information - to establish a functional relationship between fat and thermal conductivity, cream hysteresis, etc. The sharp decrease in random errors due to calorimeter automation has led not only to increased accuracy of TFH determination, but also to obtaining new information. Thus, as a result of research it was possible to solve the "inverse" problem - to establish the dependence of fat on thermal conductivity, close to functional. This is important for the dairy industry, as thermal conductivity can be determined much faster than fat. It is also established that the heat capacity of milk fat in the temperature range of active phase transformations depends on whether the milk fat is heated or cooled. This can lead to the correction of reference data. The relatively simple scheme of automation of calorimetric installations facilitated the work of the operator, increasing the accuracy of measurements, made it possible to obtain fundamentally new information. It can be used in other devices when the primary converters produce small DC signals.

Key words. Automatic control, thermophysical properties, milk fat, heat capacity, phase transition, transit calorimetry, heat meter.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-4

УДК 631.674.6

Л. Ю. Бондаренко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-5858-7375

О. О. Вершков, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-5137-3235

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: larysa.bondarenko@tsatu.edu.ua, тел.: (098)8460056

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КРАПЕЛЬНОГО ЗРОШЕННЯ НАСАДЖЕНЬ ЧЕРЕШНІ В ТОВ «САН МІЛЕТ»

Анотація. Крапельне зрошення є економічно обґрунтованим і екологічно безпечним способом поливу садів в умовах відкритого ґрунту та характеризується низкою технологічних особливостей, а саме локальним характером зволоження ґрунтів в зоні розвитку основної маси кореневої системи.

Робота присвячена розробці елементів системи крапельного зрошення плодкових насаджень черешні у товаристві з обмеженою відповідальністю «САН МІЛЕТ» для дослідної ділянки площею 13,8 га.

На підставі проведених розрахунків визначено основні параметри системи крапельного зрошення для дослідної ділянки ТОВ «САН МІЛЕТ» та встановлено, що для забезпечення якісного поливу необхідно використовувати зрошувальну трубку діаметром 0,09 м та довжиною 34500 м; кількість блоків зрошувальної ділянки становить 3 штуки. Встановлено, що для забезпечення потрібного тиску в останньому поливному трубопроводі необхідно, щоб розрахунковий напір був наближеним до 20 м. Такому значенню відповідає насос консольний відцентровий К90/20.

Ключові слова: зрошення, крапельниця, черешневий сад, блок зрошення, поливна норма, поливний трубопровод.

Постановка проблеми. Однією з основних агробіологічних особливостей плодкових, які вирощують за інтенсивними технологіями, є фактор зосередження основної маси кореневої системи у верхніх шарах ґрунту, де ймовірні різкі коливання запасів вологи протягом року та вегетаційного періоду. Тому, постійне підтримання вологості ґрунту на оптимальному рівні саме у цих шарах є необхідним для формування стабільної та високої врожайності інтенсивних садів і можливе лише за умов штучного (краплинного) зрошення [1].

Краплинне зрошення є економічно обґрунтованим і екологічно



безпечним способом поливу садів в умовах відкритого ґрунту [1, 2].

Перевагою цього способу стали ширші можливості регулювання водного режиму ґрунту. Контроль вологості ґрунту та транспірації ведеться за допомогою тензометричних постів, за допомогою яких можна утримувати коливання ґрунтової вологи в межах 75-85% Н.В. Це означає, що розмах даних варіацій вологості ґрунту в 3-3,5 рази менший, ніж при традиційному зрошенні. Практично коренева система рослин постійно перебуває у максимально сприятливих умовах. У ґрунті достатньо води та повітря. Структура ґрунту не порушується. Волога поширюється в прикореневій зоні по капілярах ґрунту [2, 3].

Краплинне зрошення характеризується низкою технологічних особливостей, головними з яких є локальний характер зволоження ґрунтів переважно тільки в зоні розвитку основної маси кореневої системи та використання для налаштування водорозподільної мережі систем крапельного зрошення інертних відносно навколишнього середовища матеріалів, насамперед полімерних [2-4].

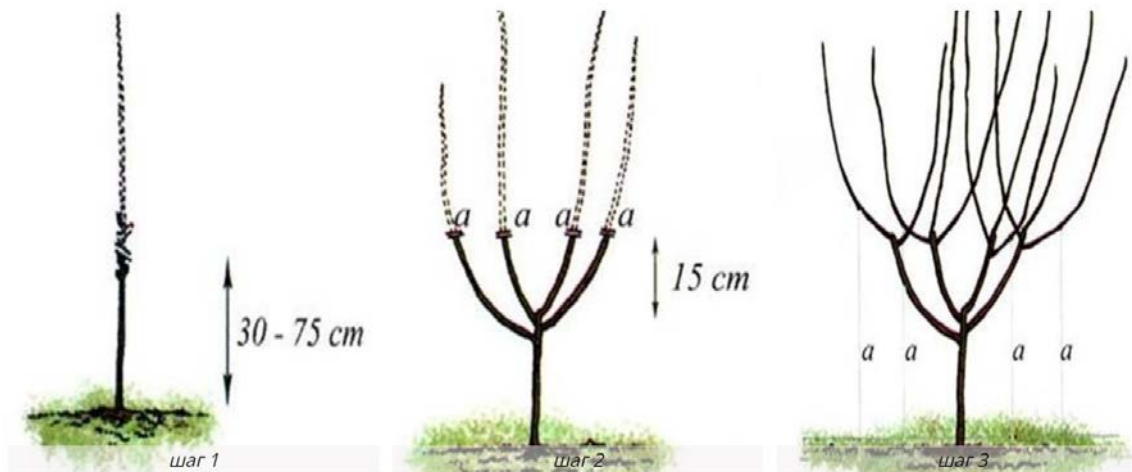
Тому розробка та обґрунтування системи зрошення плодкових насаджень на підприємствах плодового садівництва та розсадництва є актуальною проблемою і потребує проведення цілої низки наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень. За допомогою системи краплинного зрошення та агротехнічного потенціалу, який дана система привносить у практику, можливе не тільки підтримання вологості ґрунту на оптимальному рівні, а й штучне зниження його у певні фенофази розвитку рослин. Зниження вологості ґрунту в саду під час цвітіння сприяє збільшенню відсотка продуктивної зав'язі. Більш напружений водний режим під час диференціації плодкових бруньок також сприяє збільшенню кількості генеративних бруньок [4-6].

Системи краплинного зрошення функціонують таким чином, що в садах об'єм зволоженого горизонту становить 30% від горизонту, що зволожується звичайними способами зрошення [7]. За нашими спостереженнями витрати на побудову та підтримання ефективної кореневої системи у дерев з краплинним поливом становлять близько 50% від тих, що поливаються традиційним способом [7-9]. Вивільнена енергія дає нам 20-30% перевищення за приростом, обліковістю, плодним утворенням [8]. Другим засобом є програма живлення насаджень. Добрива вносяться дрібно за допомогою спеціальної системи фертигації. Завдяки збалансованому та ефективному живленню рослин (як правило, це до 90% засвоєності добрив) вирішуються такі важливі проблеми як підвищення зимостійкості та морозостійкості [7-10]. Застосування систем краплинного зрошення значно збільшує ступінь керованості садом, знижує залежність від стресових факторів, дозволяє максимально розкрити потенціал

сортово-підщепних комбінацій [11].

Одним із вагомих факторів вирощування черешні є правильне обрізання дерев. Найважливіша вимога - максимальний доступ світла до гілок на всіх рівнях крони, особливо нижніх. Найбільш розповсюдженою системою є «Іспанський кущ» (рис. 1). Вона стримує силу роста дерева у висоту за рахунок великої кількості обростаючих пагонів та прискорює вхід у період плодоношення на 2-3 роки.



а)

б)

в)

а) під час посадки – раною весною; б) травень-червень першого року; в) восени 1-го року.

Рисунок 1. Формування крони дерева за системою «Іспанський кущ»

Не дивлячись на те, що отримано значний обсяг інформації про вплив зрошення, добрив тощо на розвиток рослин, ми не можемо говорити про повне прогнозування та планування процесів у сільгоспвиробництві. Тим не менш можна, виходячи з наявної інформації, значно впливати на врожайність шляхом коригування певних факторів.

Тому розробка та обґрунтування системи зрошення плодкових насаджень на підприємств ТОВ «САН МІЛЕТ» Мелітопольського району Запорізької області є актуальною проблемою і потребує проведення цілої низки наукових досліджень.

Формулювання мети статті. Розробити елементи системи зрошення плодкових насаджень черешні шляхом розрахунку режимів та обґрунтування параметрів зрошення для дослідної ділянки площею 13,8 га.

Основна частина. Догляд за черешнею досить простий і не дуже трудомісткий. Головне – своєчасно поливати, розпушувати, мульчувати ґрунт, а також правильно формувати крону дерев у

молодому саду.

Тривалість створення насаджень черешні у ТОВ «САН МІЛЕТ» на вегетативній підщепі складає 3 роки: до 2023 року включно. Проектна ділянка розміщується в 1,5 км на пд-сх. від с. Костянтинівка Мелітопольського району Запорізької області. Крайні будівлі населеного пункту за 1,0 км на північний захід від межі насаджень.

Загальна площа дослідної ділянки складає 15,440 га, у тому числі 13,824 га під насадженнями черешні сорту Бігарро Бурлат (площа нетто). На рис. 2 наведено ситуаційний план ділянки зрошення насаджень черешні.

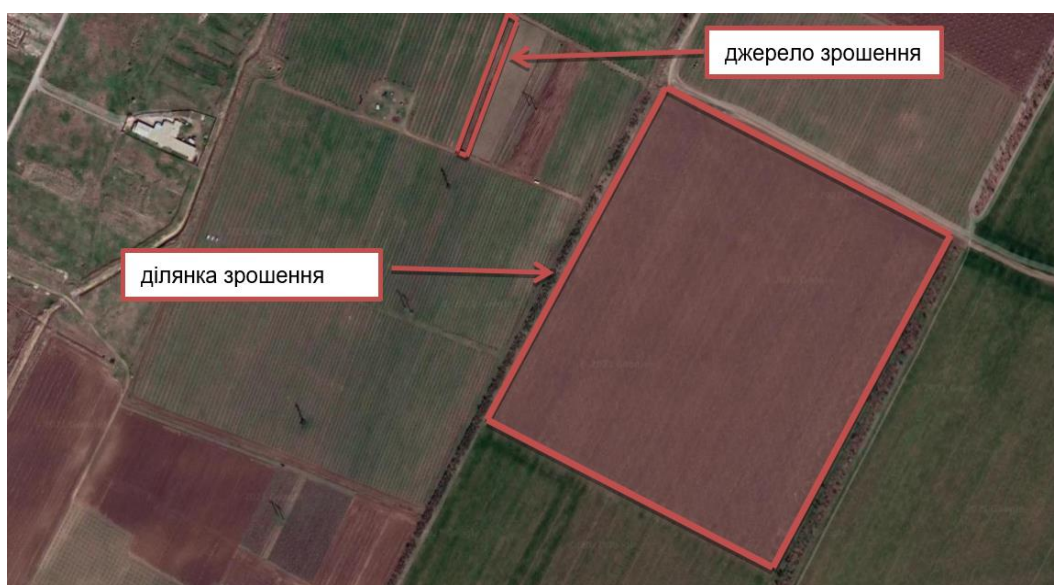


Рисунок 2. Ситуаційний план ділянки зрошення насаджень черешні в ТОВ «САН МІЛЕТ».

Черешня не дуже вимоглива до ґрунтової вологи. Їй протипоказано надмірне зволоження, проте тривале пересихання ґрунту негативно впливає на формування і якість плодів. Тому в посушливе літо необхідно проводити додаткові поливи [2, 3]. Рух води у ґрунті при краплинному зрошенні відбувається капілярним шляхом у всіх напрямках за малого впливу гравітації. Завдяки капілярному пересуванню води макропори ґрунту зазвичай залишаються сухими і рівень вологості лише трохи вище вологості за винятком невеликої насиченої ділянки безпосередньо біля крапельниці. Ці сприятливі умови дозволяють корінню рослин нормально «дихати» протягом усього періоду росту без перерви на час поливу [2, 3].

На ділянці зрошення насаджень черешні в ТОВ «САН МІЛЕТ» дерева розміщені за схемою 4,0 м x 1,5 м, площа живлення становить 6,0 м², кількість дерев на 1 га складає 1666 шт (рис.2).

Для заданої ділянки зрошення спираючись на нормативні

документи [12-15] зроблено розрахунок режимів краплинного зрошення.

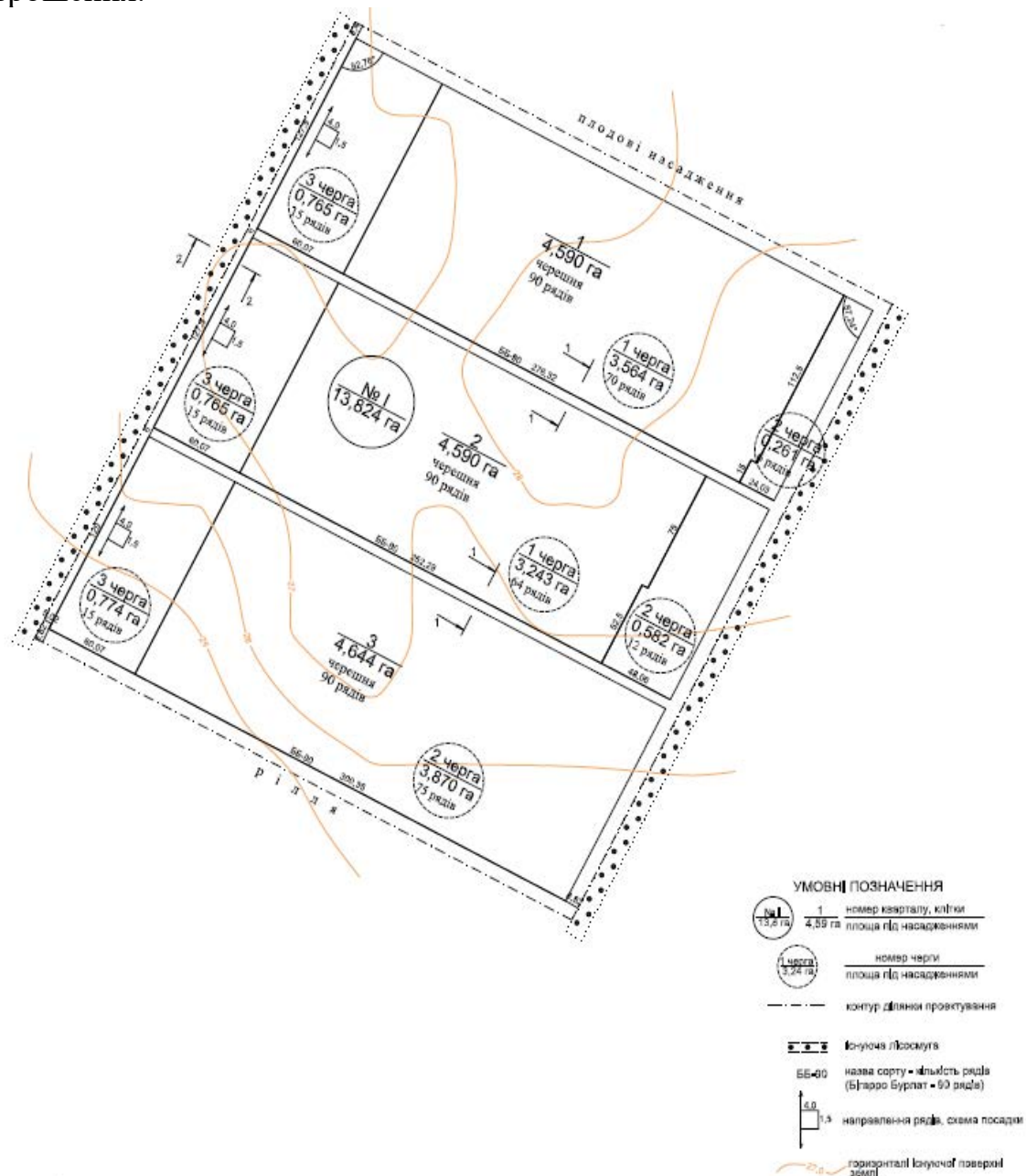


Рисунок 2. Генеральний план плодових насаджень черешні в ТОВ «САН МІЛЕТ».

Для того, щоб оцінити ступінь використання земель, що належать до СЗ, треба визначати коефіцієнт земельного використання (K_{ul}) за залежністю:

$$K_{ul} = \frac{A_{nt}}{A_{br}}, \quad (1)$$

де A_{nt} , A_{br} – площа ділянки зрошення відповідно нетто і бруто, га.



$$K_{ul} = 13,8/15,4 = 0,90 \%$$

Поливну норму визначають залежно від способу зрошення. Розрахункову поливну норму m_{nt} встановлюють з врахуванням умови доведення вологості в розрахунковому шарі ґрунту до найменшої вологомісткості: $m_{nt} = 263 \text{ м}^3/\text{га}$.

Поливну норму брутто M_{br} визначаємо з урахуванням рівномірності водоподавання на СЗ за формулою:

$$m_{br} = \frac{m_{nt}}{n_{\text{ккд}}} \quad (2)$$

де $n_{\text{ккд}}$ – ККД зрошувальної мережі, $n_{\text{ккд}} = 0,7 - 0,8$.

$$m_{br} = 263/0,7 = 376 \text{ м}^3/\text{га}$$

Тривалість міжполивного періоду треба визначати залежно від поливної норми, об'єм якої використовують рослини під час сумарного водоспоживання за формулою:

$$T = \frac{m_{br}}{\sum T_{\text{crop}} - P_{\text{ef}}} \cdot 10, \quad (3)$$

де m_{br} – поливна норма брутто, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_{ef} – ефективні (понад 5 мм) атмосферні опади за розрахунковий період, $P_{\text{ef}} = 260$ мм.

$$T = \frac{376}{(1680 - 260)} \cdot 10 = 2,6 \text{ діб}$$

Приймаємо значення $T = 3$ доби.

Тривалість поливу на ділянці зрошення треба приймати за умови подавання на ділянку зрошення поливної норми протягом доби, але не більше 18 год.

На ділянці зрошення застосовано модульний принцип розподілу води (рис. 3), за яким одночасному поливанню підлягає тільки певна частина поливних модулів.

Максимально можлива кількість блоків зрошення N_{bl} на ділянці буде залежати від тривалості міжполивного періоду. Залежно від цього формують водообіг СЗ, який можна визначати за формулою:

$$N_{bl} = T \cdot \frac{t}{t_f}, \quad (4)$$

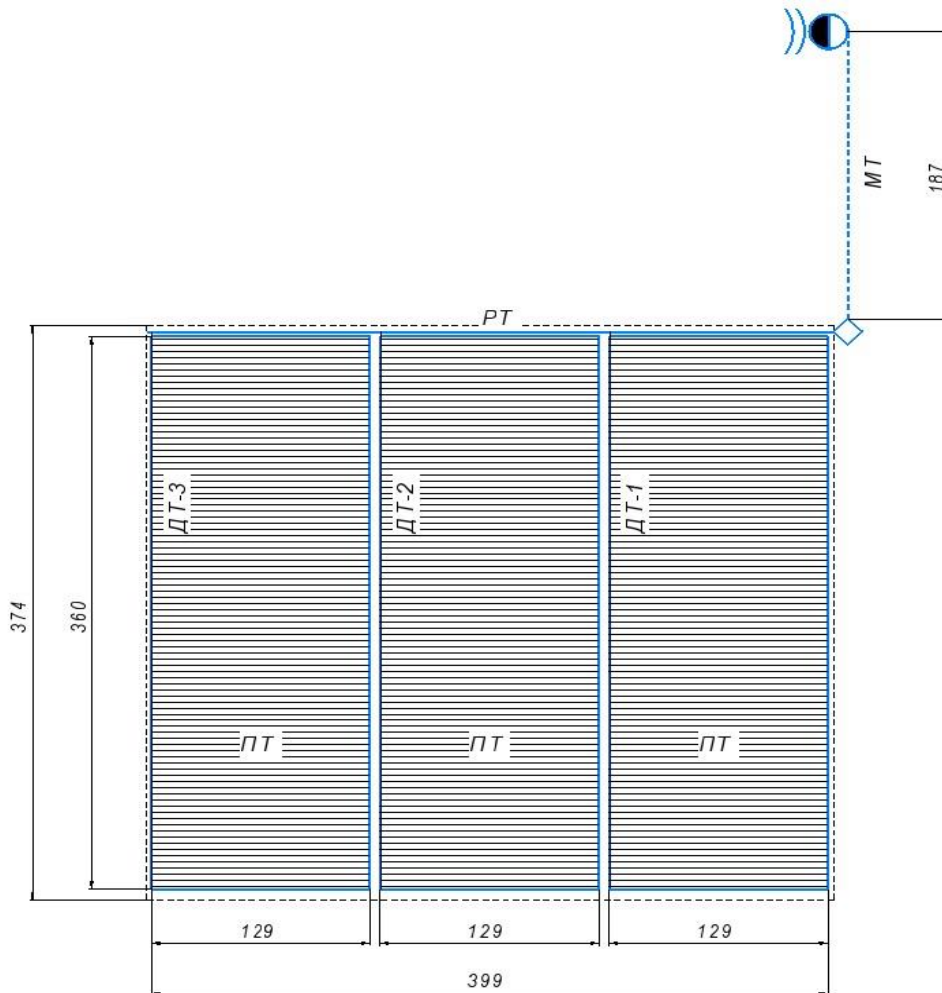
де t – потенційна тривалість поливання на добу, $t = 20$ год;

t_f – фактична тривалість поливання на добу, $t_f = 18$ год;

T – міжполивний період, $T = 3$ доби.

$$N_{bl} = 3 \cdot \frac{20}{18} = 3,3 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість блоків $N_{bl} = 3$ шт.



1 – джерело зрошення, 2 – насосна станція, 3 – фільтростанція, МТ – магістральний трубопровід, РТ – розподільчий трубопровід, ДТ – ділянковий трубопровід, ПТ – поливний трубопровід.

Рисунок 3. Схема модульної ділянки крапельного зрошення:

Кількість поливних модулів у блоці зрошення N_{pm} можна визначати за формулою:

$$N_{pm} = \frac{n}{N_{bl}}, \quad (5)$$

де n – загальна кількість поливних модулів на ділянці зрошення, $n = 6$ шт.

$$N_{pm} = \frac{6}{3} = 2 \text{ шт}$$

Середню площу модулів у блоці зрошення можна визначати за формулою:



$$A_{bl} = \frac{A_{nt}}{N_{bl}}, \quad (6)$$

де A_{bl} – середня площа блока зрошення, нетто, га;

A_{nt} – площа ділянки зрошення нетто, $A_{nt} = 13,8$ га.

$$A_{bl} = \frac{13,8}{3} = 4,6 \text{ га}$$

Витрату водоподавання системи зрошення брутто Q_0 визначимо за максимальною витратою блока зрошення за формулою:

$$Q_0 = 2,78 \cdot 10^{-4} \frac{Q_{bl}^{max}}{E_t}, \quad (7)$$

де Q_0 – витрата водоподавання, брутто, м³/с;

Q_{bl}^{max} – максимальна витрата блока зрошення, $Q_{bl}^{max} = 20$ м³/год;

E_t – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи, $E_t = 0,98$.

$$Q_0 = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{20}{0,98} \right) = 0,006 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Витрата водоподавання є розрахунковою для визначення складу і параметрів гідротехнічних споруд, засобів очищення води, устаткування насосних станцій та інших складових частин системи зрошення.

Пропускную спроможність напірних, магістральних та розподільчих трубопроводів розраховують на витрати, які відповідають найневигіднішому поєднанню поливних модулів у блоці зрошення з його максимальною витратою.

Гідромодуль системи зрошення треба визначати за формулою:

$$q = 10^3 \frac{Q_0}{A_{nt}}, \quad (8)$$
$$q = 10^3 \cdot \left(\frac{0,006}{13,8} \right) = 0,43 \frac{\text{л/с}}{\text{га}}$$

Орієнтовний діаметр магістрального трубопроводу d (м) визначається за формулою:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_0}{v}}, \quad (9)$$

де v – швидкість руху води в трубопроводі, обираємо з діапазону 0,9...1,9 м/с м/с.



$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,006}{1,2}} = 0,08 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр трубопроводу [14,15] $d_{\text{ст}} = 0,09 \text{ м}$.

Визначаємо фактичну швидкість руху води за формулою:

$$v = \frac{4Q_0}{\pi \cdot d_{\text{ст}}^2} \quad (10)$$
$$v = \frac{4 \cdot 0,006}{\pi \cdot 0,09^2} = 0,94 \text{ м/с}$$

Кількість крапельниць визначається за формулою:

$$n = \frac{l_{\text{пол}}}{\Delta l}, \quad (11)$$

де $l_{\text{пол}}$ – довжина поливного трубопроводу, $l_{\text{пол}} = 129 \text{ м}$;
 Δl – відстань між крапельницями, $\Delta l = 1,5 \text{ м}$.

$$n = \frac{129}{1,5} = 86 \text{ шт.}$$

Розрахунок кількості зрошувальної трубки (довжина поливних трубопроводів L_N), (рис. 3) визначимо за формулою:

$$L_N = \frac{A_{nt} \cdot 10000}{L_m}, \quad (12)$$

де A_{nt} – площа, яку займає культура, $A_{nt} = 13,8 \text{ га}$;
 L_m – відстань між трубками, приймаємо $L_m = 4 \text{ м}$;
1000 – коефіцієнт переведення га в м^2 .

$$L_N = \frac{13,8 \cdot 10000}{4} = 34500 \text{ м}$$

Розрахунковий напір насосних агрегатів визначаємо, з урахуванням використання крапельної трубки Evci Plastik 50 см на 4л/год, за формулою [15]:

$$H_{\text{НС}} = h_{\text{вільн}} + h_{\text{ПТ}} + h_{\text{ДТ}} + h_{\text{РТ}} + h_{\text{МТ}} + h_{\text{геод}}, \quad (13)$$

де $h_{\text{вільн}}$ – вільний напір в кінці поливного трубопроводу (мінімально-допустимий напір на крапельниці), для крапельної трубки Evci Plastik 50 см на 4 л/год, $h_{\text{вільн}} = 0,1 \text{ Бар}$;

$h_{\text{ПТ}}$ – втрати напору в поливному трубопроводі, м;

$h_{\text{ДТ}}$ – втрати напору в ділянковому трубопроводі, м;



h_{PT} – втрати напору в розподільному трубопроводі, м;
 h_{MT} – втрати напору в магістральному трубопроводі, м;
 $h_{геод}$ – різниця геодезичних відміток розрахункової ділянки і насосної станції, $h_{геод} = (z_{діл} - z_{НС})$, м.

$$H_{НС} = 1,02 + 1,87 + 0,145 + 4,27 + 2,88 = 10,185\text{м}$$

Для забезпечення потрібного тиску в останньому поливному трубопроводі найбільш віддаленого від насосної станції поливного модуля необхідно, щоб розрахунковий напір був наближеним до 20 м.

Для спроектованої системи зрошення у ТОВ «САН-МІЛЕТ» приймаємо насос консольний відцентровий К90/20, Слобожанського електромеханічного заводу, Харків, Україна.

Висновки. 1. Доведено, що ефективність крапельного зрошення виражається отриманням високих урожаїв хорошої якості за рахунок оптимального зволоження та живлення кореневого шару ґрунту при відносно низькому коефіцієнті водоспоживання.

2. Визначено основні параметри системи крапельного зрошення та встановлено, що кількість блоків зрошувальної ділянки дорівнює 3 штуки; середня площа блока зрошення складає 4,6 га; кількість поливних модулів – 2 шт.; кількість зрошувальної трубки поливних трубопроводів становить 34500 м.

3. Встановлено, що для забезпечення потрібного тиску в останньому поливному трубопроводі найбільш віддаленого від насосної станції поливного модуля необхідно, щоб розрахунковий напір був наближеним до 20 м. Такому значенню відповідає насос консольний відцентровий К90/20.

Список використаних джерел

1. Рекомендації щодо технології вирощування зерняткових садів на клонових підщепах за краплинного зрошення в умовах Лісостепу України / За ред. д-р техн. наук, академіка НААН М.І. Ромащенко, канд. с.-г. наук С.В. Рябкова. Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2012. 72 с.

2. Ромащенко М. І., Доценко В. І., Онопрієнко Д. М., Шевелєв О. І. Системи краплинного зрошення: навчальний посібник. Дніпропетровськ: ООО ПКФ „Оксамит-текст”, 2007. 175 с.

3. Садівництво півдня України. Запоріжжя: Дике поле, 2003. 231 с.

4. Ерхов Н.С., Литвиненко А.Ф. Комплексная мелиоративная система для возделывания многолетних насаждений. *Надёжность и качество технологического процесса полива*: сб. научн. тр. ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова М., 1988. с.140–144.



5. Импульсное дождевание: технология и преимущества. URL: <https://agbz.ru/articles/impulsnoe-dozhdevanie-tekhnologiya-i-preimushchestva/>

6. Struchaiev N., Bondarenko L., Vershkov O., Chaplinskiy A. Improving the efficiency of fruit tree sprayers. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 3–10.

7. Odyntsova V., Sushko S., Bondarenko L., Scherbakova N. Application of phenoclimatographic models in stone fruits protecting from spring frosts. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 267–280.

8. Tarasenko V., Bondarenko L., Scherbakova N., Horbova N. Sowing units for drilling vegetable crops. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 289–298.

9. Matkovskiy O., Karaiev A., Sankov S., Karaieva T. The Parameters Substantiation of Seed Drill Capacity for Stone Crop Seeds. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. Part I. P. 121–131.

10. Karaiev A., Tolstolik L., Chyzykov I., Karaieva T. Defining Stability of Technological Process of Growing Fruit Crop Seedlings. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. Part I. P.53–62.

11. Латоша В. В. Розробка системи мікродощування плодкових культур. Матеріали ІХ Всеукраїнської наук.-техн. конф. магістрантів та студентів. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 54.

12. ДСТУ 7594: 2014. Краплинне зрошення плодкових культур: загальні вимоги та методи контролювання. [Чинний від 2014-02-12]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 9 с.

13. ДСТУ 4930:2008. Плодові, ягідні та виноградні насадження. Проектування систем зрошування. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2009-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 35 с.

14. СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. Киевский филиал ВНИИ монтажспецстрой, ВНИИГС, НИПИ теплопроект. (Инструкция з проектування технологічних трубопроводів з пластмасових труб).

15. Пособие к СН 550-82. Пособие по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. НПО «Пластик» (Посібник з проектування технологічних трубопроводів з пластмасових труб).



Стаття надійшла до редакції 12.02.2022 р.

L. Bondarenko, O. Vershkov
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF DROP IRRIGATION OF CHERRY PLANTATIONS IN LLC "SAN MILET"

Summary

Drip irrigation is an economically viable and environmentally friendly method of watering gardens in open ground and is characterized by a number of technological features, the main of which is the local nature of soil moisture, mainly only in the area of root mass development and use drip irrigation systems to adjust the water distribution network.

The work is devoted to the development of elements of the drip irrigation system of Bigarro Burlat cherry orchards in the limited liability company "SAN MILET" for a research area of 13.8 hectares. At the site of irrigation trees are placed according to the scheme 4.0 m x 1.5 m, feeding area is 6.0 m², the number of trees per 1 hectare is 1666 pcs. The total area of the research site is 15,440 hectares.

Based on the calculations, the main parameters of the drip irrigation system for the research area of cherries LLC "SAN MILET" were determined and it was established that to ensure quality irrigation it is necessary to use an irrigation tube with a diameter of 0.09 m and a length of 34,500 m. The modular principle of water distribution is applied at the irrigation site, according to which only a certain part of irrigation modules is subject to simultaneous watering. It was determined that the number of blocks of the irrigation area is 3 pieces, and the number of irrigation modules in the irrigation block is 2 pieces, the average area of the irrigation block is 4.6 hectares.

As a result of hydraulic calculation of pump unit pressure it was found that to ensure the required pressure in the last irrigation pipeline furthest from the pumping station of the irrigation module it is necessary that the design pressure was close to 20 m.

Key words: irrigation, drip, cherry orchard, irrigation unit, irrigation rate, irrigation pipeline.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-5

УДК 338.2

Р. В. Скляр, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1547-5100

Б. В. Болтянський, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2072-4025

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РАЦІОНУ ГОДУВАННЯ ДІЙНИХ КОРІВ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

Анотація. В статті запропоновано методику моделювання оптимального раціону годування дійних корів у зимовий період з дотриманням відповідних зоотехнічних: по енергетичному, протеїновому, макро- і мікроелементному, амінокислотному і вітамінному складі, а також по співвідношенню різних груп, видів кормів у поживних речовинах та економічних вимог. Доведено, що для цього доцільно використовувати оптимізаційну економіко-математичну модель раціону годування тварин. При цьому використано цільову функцію – мінімальна собівартість раціону. В результаті рішення задачі лінійного програмування симплекс-методом MS Excel отримано перелік видів кормів, що входять до складу раціону дійних корів при заданих вихідних даних. Розроблена та реалізована на тваринницькому підприємстві методика дозволить збільшити виробництво і реалізацію молока при мінімальній собівартості.

Ключові слова: моделювання, оптимізація, дійна корова, раціон, собівартість, молоко.

Постановка проблеми. Створення надійної кормової бази у сільськогосподарських підприємствах є основою подальшого зростання тваринництва. Вибір і структура кормового балансу залежить від природно-кліматичних умов, видів і порід тварин, що розводять у господарстві, досягнення науки і техніки та досвіду у організації раціональної годування сільськогосподарських тварин [1].

Повноцінне годування є основою відтворення тварин і, відповідно, зростання продуктивності дорослих тварин, сприяє скороспілості та збільшення живої маси молодняку, що в свою чергу означає підвищення ефективності ведення галузі тваринництва. Правильне використання кормів є одним із резервів збільшення і здешевлення виробництва продукції галузі тваринництва [2]. В залежності від умов



кожного зокрема сільськогосподарського підприємства, його можливостей необхідно розраховувати оптимальні норми годування тварин, виходячи із науково – обґрунтованих, розроблених на основі оптимізаційних методів і моделей раціонів годування кожного виду сільськогосподарської тварини.

Розрахувати такий раціон традиційними методами підбору компонентів дуже складно, а при значному наборі кормів, практично не можливо. Тому задачу бажано вирішувати з допомогою економіко-математичних методів з використанням ПЕОМ.

Питання оперативного планування використання кормів, які заготовлені на зимовий період, представляють практичний інтерес. Оптимальний план повинен забезпечити найбільш раціональний розподіл запасів кормів між статевовіковими групами і видами худоби з одночасним визначенням раціонів для кожної групи [3].

Аналіз останніх досліджень. Питанням економіко-математичного моделювання в управлінні виробничо-економічною діяльністю присвячені роботи С. М. Волкова, В. Д. Кірюхіна, О. О. Варламова, О. В. Купчиненко, Л. С. Твердовської, Р. О. Трибрата [4, 5], які описували системи макроекономічних моделей планування та аналізу розвитку агропромислового комплексу. Автори намагалися моделювати окремі елементи виробничо-економічної діяльності, нехтуючи принципом комплексності. Але, сучасні підходи до моделювання у сільському господарстві мають бути спрямовані на розвиток таких принципів управління, як системність та комплексність, багатоваріативність розрахунків за допомогою запровадження системи економіко-математичних моделей.

Також, важливу роль відіграють завдання оптимізації [4-6]: повновікової структури стада; раціонів годування худоби; структури кормовиробництва, забезпечення худоби кормами власного виробництва в умовах обмежених земельних ресурсів. Вирішення цих завдань допоможе уникнути погіршення показників відтворення стада, продуктивності тварин і досягти максимум економічного ефекту.

Формулювання мети статті. Розробка економіко-математичної моделі та розрахунок оптимального раціону годування дійних корів з урахуванням відповідних зоотехнічних та економічних вимог.

Основна частина. На фермі великої рогатої худоби (ВРХ) для годування тварин використовують зернові, грубі та соковиті корми, які вирощені в господарстві [7, 8]. До них відносяться солома, кукурудза на силос, концентровані корми [9].

Розробку числової економіко-математичної моделі починають з визначення невідомих величин і параметрів (відомих величин) задачі [10,11]. Відбір вихідної інформації повинен включати:

- вид чи статево-вікова група тварин, для якої складається раціон,



період (доба, декада, місяць), жива маса, продуктивність;
- вміст поживних речовин у раціоні (норма годування);
- види кормів і добавок, що є в господарстві;
- норми згодовування різних видів кормів тварині (граничні);
- вміст поживних речовин у 1 кг кожного виду корму;
- ціни 1-ці корму чи їх собівартість.

На основі попереднього аналізу для розв'язку даної задачі необхідно мати таку інформацію [9-12]:

- визначають добову потребу сільськогосподарської тварини у різних видах поживних речовинах, макро- і мікроелементів, вітамінах, амінокислотах;

- визначаються види кормів власного виробництва, їх собівартість та необхідні кормові добавки, вітаміни тощо, що будуть покупними та, відповідно, їх ціни;

- визначаються фізіологічно допустимі границі вмісту різних груп кормів і кормових добавок у раціон в залежності від цільового призначення тваринницької продукції. Встановлюється співвідношення в раціоні окремих поживних і хімічних речовин.

Постановка задачі. Скласти економіко-математичну модель оптимізації добового раціону годування для дійних корів у зимовий період з середньою живою масою 600 кг і середньодобовим надоем 20 кг молока. Для забезпечення заданої продуктивності необхідно, щоб в раціоні містилося не менше 17,0 кг кормових одиниць, 1700 г перетравного протеїну, 110,5 г кальцію, 76,5 г фосфору і 765 мг каротину. Сухої речовини в нім має бути не менше 17 кг.

Раціон може складатися з дерті ячмінної, дерті горохової, соняшникового шроту, висівок, сіна люцернового, соломи, силосу кукурудзяного, сінажу люцернового і кормового буряка. Вміст поживних речовин в кормі і їх поживна цінність представлені в таблиці 1.

Маса окремих груп кормів може перебувати в межах [7]:

- концентрати - від 30 до 40% від структури раціону,
- грубі корми - від 10 до 20%,
- соковиті 30...50%
- премікс не менше 1%

Питома вага кукурудзи в групі концентрованих кормів повинна складати 40...50%, шроту від 20 до 30%, висівок не більше 6 %, дерть ячмінна від 5 до 10%; соломи в групі грубих – не більше 20%, силосу – не менше 50% в групі соковитих [7].

Критерій оптимальності – мінімум собівартості раціону.

Збір вихідної інформації і порядок її підготування

Вихідною інформацією в даному типі задач буде поживність та собівартість кормів (таблиця 1) [7,12].



Таблиця 1

Вміст поживних речовин в 1 кг корму і собівартість кормів

Види кормів	Кормові одиниці, кг	Перетравний протеїн, г	Кальцій, г	Фосфор, г	Каротин, мг	Суха речовина, кг	Вартість (собівартість) 1 кг
Дерть ячмінна	1,08	90	1,6	2,9	0,3	0,85	3,75
Дерть горохова	1,22	198	2	4,3	0,2	0,88	2,25
Кукурудза	1,33	78	0,5	5,2	6,8	0,85	4,2
Шрот соняшниковий	1,18	383	3,6	12,2	3	0,9	3,5
Шрот соєвий	1,21	400	2,7	6,6	0,2	0,91	4,3
Висівки пшеничні	0,86	109	2	6,6	2,6	0,84	3,1
Сінаж люцерновий	0,54	38	5,4	1,6	40	0,45	2,15
Сіно люцернове	0,5	70	4,2	2,4	49	0,83	1,18
Солома ячмінна	0,36	16	3,7	1,0	4	0,85	0,11
Силос кукурудзяний	0,2	14	1,5	1,1	15	0,26	0,23
Кормовий буряк	0,12	9	0,4	0,4	–	0,13	1,68
Премікс	-	-	90	30	1250	-	6,8

Розробка числової моделі

У відповідності з умовами задачі введемо змінні величини:

 x_1 – дерть ячмінна, кг x_2 – дерть горохова, кг x_3 – кукурудза, кг x_4 – шрот соняшниковий, кг x_5 – шрот соєвий, кг x_6 – висівки пшеничні, кг x_7 – сінаж люцерновий, кг x_8 – сіно люцернове, кг x_9 – солома ячмінна, кг x_{10} – силос кукурудзяний, кг x_{11} – кормовий буряк, кг x_{12} – премікс, кг**Складемо систему обмежень:**

1. За кормовими одиницями, кг

$$1,08 x_1 + 1,22 x_2 + 1,33 x_3 + 1,18 x_4 + 1,21 x_5 + 0,86 x_6 + 0,54 x_7 + 0,5 x_8 + 0,36 x_9 + 0,2 x_{10} + 0,12 x_{11} \geq 17,0$$



2. За вмістом перетравного протеїну, г

$$90 x_1 + 198 x_2 + 78 x_3 + 383 x_4 + 400 x_5 + 109 x_6 + 38 x_7 + 70 x_8 + 16x_9 + 14x_{10} + 9 x_{11} \geq 1700$$

3. За вмістом каротину, мг

$$0,3x_1 + 0,2x_2 + 6,8 x_3 + 3 x_4 + 0,2 x_5 + 2,6 x_6 + 40 x_7 + 49 x_8 + 4x_9 + 15x_{10} + 1250x_{12} \geq 765$$

4. За вмістом кальцію, г

$$1,6x_1 + 2x_2 + 0,5x_3 + 3,6x_4 + 2,7 x_5 + 2 x_6 + 5,4x_7 + 4,2x_8 + 3,7x_9 + 1,5x_{10} + 0,4x_{11} + 90x_{12} \geq 110,5$$

5. За вмістом фосфору, г

$$2,9x_1 + 4,3x_2 + 5,2x_3 + 12,2x_4 + 6,6 x_5 + 6,6 x_6 + 1,6x_7 + 2,4x_8 + x_9 + 1,1x_{10} + 0,4x_{11} + 30x_{12} \geq 76,5$$

II. За вмістом сухої речовини, кг

6. Не менше

$$0,85x_1 + 0,88x_2 + 0,85x_3 + 0,9x_4 + 0,91 x_5 + 0,84x_6 + 0,45x_7 + 0,83x_8 + 0,85x_9 + 0,26x_{10} + 0,13x_{11} \geq 17$$

III. За вмістом груп кормів у раціоні, кг

7. Концентратів, не менше

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 0,3(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$2,33x_1 + 2,33x_2 + 2,33x_3 + 2,33x_4 + 2,33x_5 + 2,33x_6 - x_7 - x_8 - x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} \geq 0$$

8. Концентратів, не більше

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 0,4(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$1,5x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,5x_4 + 1,5x_5 + 1,5x_6 - x_7 - x_8 - x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} \leq 0$$

9. Грубих кормів, не менше

$$x_8 + x_9 \geq 0,1(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 - x_7 + 9x_8 + 9x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} \geq 0$$

10. Грубих кормів, не більше

$$x_8 + x_9 \leq 0,2(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 - x_7 + 4x_8 + 4x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} \leq 0$$

11. Соковитих, не менше

$$x_7 + x_{10} + x_{11} \geq 0,3(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 + 2,33x_7 - x_8 - x_9 + 2,33x_{10} + 2,33x_{11} - x_{12} \geq 0$$

12. Соковитих, не більше

$$x_7 + x_{10} + x_{11} \leq 0,5(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 + x_7 - x_8 - x_9 + x_{10} + x_{11} - x_{12} \leq 0$$

13. Премікс, не менше

$$x_{12} \geq 0,01(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8 - x_9 - x_{10} - x_{11} + 99x_{12} \geq 0$$

IV. За вмістом окремих видів кормів у групах кормів, кг

14. Кукурудза в групі концентрованих, не менше



$$x_3 \geq 0,4 (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) \quad \text{або} \quad -x_1 - x_2 + 1,5x_3 - x_4 - x_5 - x_6 \geq 0$$

15. Кукурудза в групі концентрованих, не більше

$$x_3 \leq 0,5 (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) \quad \text{або} \quad -x_1 - x_2 + x_3 - x_4 - x_5 - x_6 \leq 0$$

16. Шрот в групі концентрованих кормів, не менше

$$x_4 + x_5 \geq 0,2 (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 + 4x_4 + 4x_5 - x_6 \geq 0$$

17. Шрот в групі концентрованих кормів, не більше

$$x_4 + x_5 \leq 0,3(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 + 2,33x_4 + 2,33x_5 - x_6 \leq 0$$

18. Висівки в групі концентрованих кормів, не більше

$$x_6 \leq 0,06(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 + 15,7x_6 \leq 0$$

19. Солома в групі грубих кормів, не більше

$$x_9 \leq 0,2 (x_8 + x_9) \quad \text{або} \quad -x_8 + 4x_9 \leq 0$$

20. Силосу в групі соковитих, не менше

$$x_{10} \geq 0,5 (x_7 + x_{10} + x_{11}) \quad \text{або} \quad -x_7 + x_{10} - x_{11} \geq 0$$

21. Дерть ячмінна в групі концентрованих кормів, не менше

$$x_1 \geq 0,05 (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)$$

$$19x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 \geq 0$$

22. Дерть ячмінна в групі концентрованих кормів, не більше

$$x_1 \geq 0,1 (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)$$

$$9x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 \leq 0$$

Цільова функція: мінімум вартості раціону, грн.

$$F = 3,75x_1 + 2,25x_2 + 4,2x_3 + 3,5x_4 + 4,3x_5 + 3,1x_6 + 2,15x_7 + 1,18x_8 + 0,11x_9 + 0,23x_{10} + 1,68x_{11} + 6,8x_{12} \rightarrow \min$$

Вирішення задачі на ПЕОМ

Після цього готується числова модель задачі, дані якої заносять у персональний комп'ютер і вирішують за допомогою платформи MS Excel [11].

В результаті рішення задачі лінійного програмування симплекс-методом MS Excel отримані наступні дані в таблиці 2.

Аналіз результатів розв'язання задачі

Згідно оптимального плану в раціон слід включити (таблиця 2):

- дерть ячмінна – 0,46 кг
- дерть горохова – 3,23 кг
- кукурудза – 3,69 кг
- шрот соняшникових – 1,84 кг
- сіно люцернове – 4,91 кг
- солома ячмінна - 1,23 кг
- силос кукурудзяний – 14,82 кг
- премікс – 0,53 кг

Загальна вага добового раціону – 30,71 кг



Таблиця 2

Оптимальний розв'язок задачі

Номер обмеження	Змінні	Види кормів												Обмеження		
		дерть ячмінна	дерть горохова	кукурудза	шрот сояшиповий	шрот соевий	висівки пшеничні	сінаж люцерновий	сіно люцернове	солома ячмінна	силос кукурудзяний	кормовий буряк	премікс	Ліва частина	Знак	Права частина
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12			
Значення змінних, кг		0,46	3,23	3,69	1,84	0	0	0	4,91	1,23	14,82	0	0,53			
I. Баланс поживних речовин																
1	Кормових одиниць, кг	1,08	1,22	1,33	1,18	1,21	0,86	0,54	0,5	0,36	0,2	0,12		17	≥	17
2	Перетравного протеїну, г	90	198	78	383	400	109	38	70	16	14	9		2245	≥	1700
3	Каротину, мг	0,3	0,2	6,8	3	0,2	2,6	40	49	4	15		1250	1158	≥	765
4	Кальцію, г	1,6	2	0,5	3,6	2,7	2	5,4	4,2	3,7	1,5	0,4	90	111	≥	110,5
5	Фосфору, г	2,9	4,3	5,2	12,2	6,6	6,6	1,6	2,4	1	1,1	0,4	30	102	≥	76,5
II. Вміст сухої речовини, кг																
6	Не більше	0,85	0,88	0,85	0,9	0,91	0,84	0,45	0,83	0,85	0,26	0,13		17	≥	17
III. Вміст груп кормів у раціоні, кг																
7	Концентратів тп	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	≥	0
8	Концентратів тах	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-8	≤	0
9	Грубих кормів тп	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	9	9	-1	-1	-1	31	≥	0
10	Грубих кормів тах	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	4	4	-1	-1	-1	0	≤	0
11	Соковитих тп	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2,33	-1	-1	2,33	2,33	-1	19	≥	0
12	Соковитих тах	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	≤	0
13	Премікс тп	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	99	22	≥	0
IV. Вміст окремих видів кормів у групах кормів																
14	Кукурудза в групі концентрованих тп	-1	-1	1,5	-1	-1	-1							0	≥	0
15	Кукурудза в групі концентрованих тах	-1	-1	1	-1	-1	-1							-2	≤	0
16	Шрот в групі концентрованих тп	-1	-1	-1	4	4	-1							0	≥	0
17	Шрот в групі концентрованих тах	-1	-1	-1	2,33	2,33	-1							-3	≤	0
18	Висівки в групі концентрованих кормів тах	-1	-1	-1	-1	-1	15,7							-9	≤	0
19	Солома в групі грубих кормів тах								-1	4				0	≤	0
20	Силосу в групі соковитих тп										1	-1		15	≥	0
21	Дерть ячмінна в групі концентрованих кормів тп	19	-1	-1	-1	-1	-1							0	≥	0
22	Дерть ячмінна в групі концентрованих кормів тах	9	-1	-1	-1	-1	-1							-5	≤	0
Мінімальна вартість раціону, грн.		3,75	2,25	4,2	3,5	4,3	3,1	2,15	1,18	0,11	0,23	1,68	6,8		min	44

Виконання умов:

- I група обмежень - потреба в кормових одиницях і кальцію задоволена по мінімуму, вміст каротину, протеїну і фосфору значно вище мінімально необхідного;

- II і III група - кількість сухої речовини і концентратів відповідає необхідному, інших груп кормів перевищує мінімально необхідне;

- VI група - математичні співвідношення виконані.

Цільова функція: при такому складі кормів мінімальна собівартість раціону становитиме 44 грн.

Висновки. Для молочного підприємства ВРХ запропонована методика дозволить скласти та розв'язати економіко-математичну модель. В результаті буде отримано оптимальний раціон годування дійних корів при мінімальній його собівартості.

Список використаних джерел

1. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research». Bilbao, Spain 2020. Pp. 431–433.
2. Milko D. O., Pedchenko G. P., Zhuravel D. P., Bratishko V. V.



Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. INMATEH - Сельскохозяйственное машиностроение. 2020. Vol. 60. No. 1. Pp. 269-274. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-30.2>.

3. Boltianska N. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. Pp. 171–176.

4. Кігель В. Р. Математичні методи ринкової економіки. К: Кондор, 2003. 212 с.

5. Трибрат Р. О. Моделювання технологічних процесів у тваринництві: метод. рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Миколаїв: МНАУ, 2016. 47 с.

6. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. Інноваційні технології в АПК: матер. VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С. 122–124.

7. Практикум з годування сільськогосподарських тварин: навчальний посібник / Ібатуллін І.І. та ін., під ред. академіка НААН України І. І. Ібатулліна. К.: 2015. 422 с.

8. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

9. Boltianska N. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France 2020. Pp. 478–480.

10. Скляр О. Г. Проектування та монтаж техніки агропромислового виробництва»: курс лекцій / О. Г. Скляр та ін. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 196 с.

11. Скляр Р. В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. Міжнародна науково-практична конференція «Молодь і технічний прогрес в АПК». Харків: ХНТУСГ. 2021. С. 263–266.

12. Boltianskyi B. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research/ B. Boltianskyi other. Processes 2021, 9(7), 1144 <https://doi.org/10.3390/pr9071144>.

Стаття надійшла до редакції 13.12.2021 р.



R. Skliar, B. Boltianskyi
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

MODELING AND OPTIMIZATION OF DIET FOR FEEDING MILK COWS IN WINTER

Summary

The article proposes a method of modeling the optimal diet for dairy cows in winter with the relevant zootechnical: energy, protein, macro- and micronutrient, amino acid and vitamin composition, as well as the ratio of different groups, types of feed in nutrients and economic requirements. Complete feeding is the basis of animal reproduction and, accordingly, increase the productivity of adult animals, promotes precocity and increase the live weight of young animals, which in turn means increasing the efficiency of the livestock industry. Proper use of feed is one of the reserves to increase and reduce the cost of production of livestock products. Depending on the conditions of each agricultural enterprise, its capabilities, it is necessary to calculate the optimal norms of animal feeding, based on scientifically sound, developed on the basis of optimization methods and models of feeding rations of each species of farm animals. It is proved that for this purpose it is expedient to use the optimization economic-mathematical model of animal feeding ration. The target function was used - the minimum cost of the diet. The source information was the content of feed units, digestible protein, calcium, phosphorus, carotene, dry matter and the cost of feed. As a result of solving the problem of linear programming by the simplex method of MS Excel, a list of feed species that are part of the diet of dairy cows with a given initial data. The following conditions are met: the need for feed units and calcium is met to a minimum, the content of carotene, protein and phosphorus is much higher than the minimum required, the amount of dry matter and concentrates meets the required, other feed groups exceed the minimum required. The methodology developed and implemented at the livestock enterprise will increase milk production and sales at a minimum cost.

Key words: modeling, optimization, dairy cow, diet, cost, milk.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-6

УДК 631.354.022

О. М. Шокарев, к.т.н. доц.,

ORCID: 0000-0001-8646-4524

К. О. Шегеда, інженер,

Б. В. Болтянський, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2072-4025

О. О. Шокарев, інженер.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*

e-mail: alexandr.shokarev@gmail.com

РІЗАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЗБИРАННЯ НЕЗЕРНОВОЇ ЧАСТИНИ ВРОЖАЮ ПРИ КОМБАЙНОВОМУ ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ОБЧІСУВАННЯ РОСЛИН НА КОРЕНІ

Анотація. Однак основним стримуючим чинником щодо широкого впровадження у виробництво нової зернозбиральної техніки залишається проблема збирання обчесаного на корені стеблостою. Для зрізання обчесаних стебел найбільш компактним і технологічно надійним є сегментний пальцьовий різальний апарат зі зворотно-поступальним рухом ножа, а для очищення зони різання використовується транспортуючий механізм, який виконано у вигляді контуру нескінченного ланцюга із закріпленими на ньому граблинами. Вони розташовані над різальним апаратом паралельно площині сегментів, на яких транспортуються зрізані обчесані стебла до зони викидного вікна. Але при використанні малогабаритного вищезгаданого різального пристрою виникає проблема урівноваження поперечних коливань та очищення граблин в зоні формування валка. В статті обґрунтовані геометричні параметри різального апарату на основі нескінченного ланцюга з активним валкоутворювачем. В процесі вивчення механіко-технологічних особливостей взаємодії обчесаних стебел з робочими органами різального пристрою були вирішені наступні завдання: обрана схема транспортування маси стебел, що формує і укладає валок між рушіями комбайна; в результаті кінематичного аналізу транспортуючого механізму було визначено, що в місці розвороту граблини складаються сприятливі умови для очищення цього механізму від стебел і формування валка. Розроблена фізична модель процесу взаємодії стебла з поверхнею валкоутворювача у вигляді двох відбиваючих вальців, які утворюють єдине ціле з



зірочками транспортуючого механізму. Використання такого апарату зменшить вібрацію різального пристрою та підвищить якість очищення граблин в зоні формування валка.

Ключові слова: обчісування рослин, різальний пристрій, валкоутворювач.

Постановка проблеми. До нових технологій збирання зернових культур відноситься комбайнове збирання методом обчісування на корені [1, 2].

Розробки такого способу ведуться у Таврійському агротехнологічному університеті [1, 3].

Особливість даного способу полягає у тому, що обчісувальний пристрій, що прикріплений до комбайну замість жнивarki, виконує обмолот зернових культур на корені з наступним збором та доопрацюванням обчісаного вороху у комбайні.

Незернова частина врожаю (обчісані стеблини) у молотильно-сепарувальній пристрій комбайна не потрапляють, в результаті чого досягається істотне підвищення пропускнуої здатності комбайна; зменшення втрат зерна та його травмування; зменшення енергоємності комбайна.

Однак невирішеність до теперішнього часу проблеми збирання обчісаного стеблостою вважається основним стримуючим фактором при широкому впровадженні в виробництво зернозбиральної техніки обчісувального типу.

Для підвищення надійності технологічного процесу обчісування зернових культур треба підвищити в першу чергу надійність робочих органів різального пристрою комбайна, зокрема транспортуючого механізму.

Аналіз останніх досліджень. На даний час використовується різальний пристрій сільськогосподарських машин, який включає різальний апарат, над котрим розміщено транспортуючий механізм у вигляді нескінченного гнучкого елемента, на якому закріплені граблини транспортуючі. (А. С. 1601791 ССРСР, / А. Н. Шокарев, Н. Н. Данченко, А. В. Авдеев, В. П. Гаврилов, В. И. Тарасенко, А. Ф. Бинчев).

Головним недоліком розглянутого різального пристрою є низька надійність процесу валко утворення при збільшенні ширини захвату і утворенні валка по центру пристрою.

Цей недолік пояснюється тим, що в зоні викидного вікна (зона валкоутворення), очищення транспортуючих граблин від рослинної маси та утворення валка відбувається тільки за рахунок різкої зміни напрямку руху і збільшення лінійної швидкості граблин при їх повороті[4, 5].

У момент зміни напрямку руху стебла відбувається його різкий зліт.



Це призводить до того, що погіршується операція пропуску зрізаних стебел через вікно, знижується якість валка, порушується технологічний процес різання.

Також недоліком розглянутого різального пристрою є проблема урівноваження поперечних коливань різального апарату зі зворотно поступальним рухом.

При рівномірному обертанні кривошипу механізму приводу, ніж та інші деталі різального апарату мають змінні за напрямком прискорення.

Сили інерції, які виникають при цьому, спричиняють динамічний тиск у механізмах.

Цей тиск передається на весь різальний пристрій, що викликає коливання, які приводять до зменшення надійності технологічного процесу зрізання стеблин та довговічності різального пристрою [4, 5].

Формування мети статті. Метою статті є вдосконалення різального пристрою, в якому шляхом модернізації конструктивно-технологічної схеми, основаної на новій сукупності конструктивних елементів, їх взаємному розташуванні і наявності зв'язків між ними, забезпечується підвищення надійності технологічного процесу валкоутворення зрізаних стеблин і забезпечується урівноваженням сил інерції різального пристрою.

Основна частина. Поставлена мета може вирішуватись кількома альтернативними варіантами, наприклад тим, що в різальному пристрої, що містить різальний апарат та транспортуючий механізм у вигляді двох нескінченних гнучких елементів, встановлено активний валкоутворювач у вигляді двох відбиваючих вальців, один з яких обертається за годинниковою стрілкою, а другий – за протигодинниковою.

Це дозволяє ліквідувати зліт зрізаного стебла в момент зміни напрямку руху, що в свою чергу поліпшує умови транспортування зрізаних рослин в зоні викидного вікна.

Встановлення двох активних відбиваючих вальців, які утворюють єдине ціле з зірочками транспортуючого механізму. Рух відбиваючих вальців синхронізована з двома гілками транспортуючого механізму, забезпечує підвищення надійності технологічного процесу валкоутворення зрізаних стеблин.

Різальний пристрій містить: різальний апарат сегментного типу 1, встановлений під кутом до горизонту, над яким розташовані два транспортуючих механізми 2 у вигляді двох нескінченних гнучких елементів 5 з жорстко закріпленими на них граблинами 3, які встановлюються паралельно площині різального апарата (рис. 1). На відстані, що дорівнює ходу ножа від граблин 3, на гнучкому елементі 5 під кутом до них жорстко кріпляться граблини 4, які встановлюються

паралельного горизонту. Граблини 3 і 4 виконані такими, що не виступають за передню кромку ножа 1. Транспортуючі механізми містять відбиваючі вальці 6, які утворюють активний валкоутворювач в зоні викидного вікна 7.

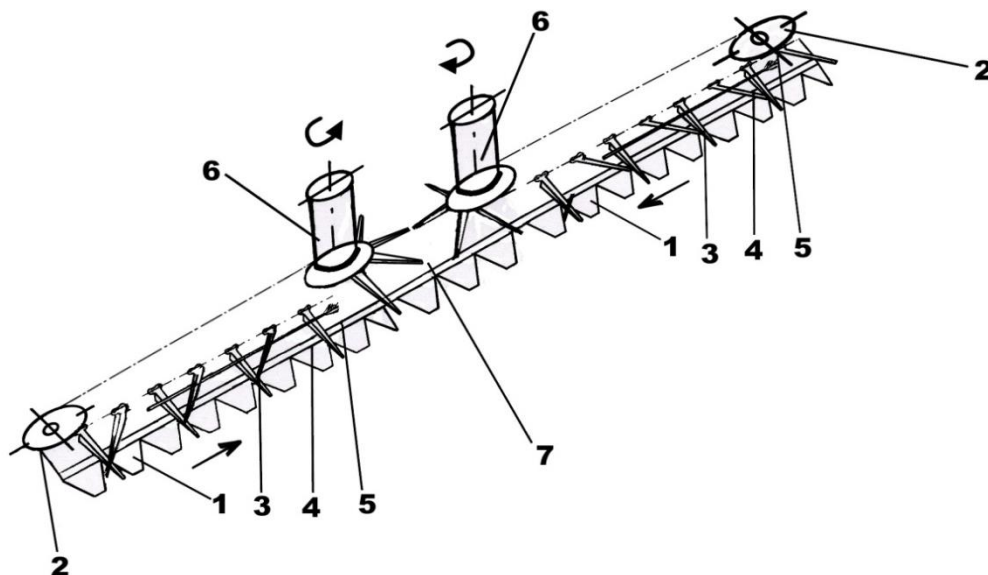


Рисунок 1. Схема різального пристрою, який має різальний апарат зі зворотньо поступовим рухом

Відбиваючі вальці утворюють єдине ціле з зірочками транспортуючих механізмів 2.

Відбиваючі вальці 6 відносно транспортуючих граблін 4 розташовані під кутом, який дорівнює куту до горизонту, під яким встановлено різальний апарат 1.

Відбиваючі вальці 6, як і гілки транспортуючих механізмів 2, рухаються в протилежному напрямку до викидного вікна 7.

Різальний пристрій працює таким чином. Стеблини зрізуються різальним апаратом 1. В момент зрізання грабліна 3 взаємодіє з рослинами та переорієнтує їх так, що в результаті зрізані стеблини попадають на грабліни 4, які закріплені на гнучкому елементі 5. Зрізана маса переміщується на граблінах 4 понад зоною різання до місця формування валка. Зона зрізання постійно очищується від зрізаних стеблин граблінами 3. Очищення граблін 4 здійснюється за рахунок різкого збільшення лінійної швидкості в момент розгортання граблін. В цей час зрізані стебла взаємодіють з відбиваючою поверхнею вальця 6 та змінюють напрям руху в потрібну область простору – зону викидного вікна 7. Поверхня відбиваючого вальця 6, яка розташована під гострим кутом до транспортуючих граблін 4, запобігає зльоту стебел у викидному вікні 7. Стебла при взаємодії з

поверхнею відбивача 6 отримують прискорення і змінивши траєкторію проходять скрізь вихідне вікно 7. Тим самим поліпшується пропуск зрізаних стебел, повністю очищується зона різання у районі вихідного вікна 7, підвищується якість валка.

Наступний варіант, це коли мета досягається тим, що в різальному пристрої встановлено різальний апарат на основі нескінченного ланцюга на якому закріплені сегментні ножі. Різальний апарат обертається над протиризальними пальцями. Очистку зони різання та відвід зрізаних стеблин здійснюється транспортуючим механізмом у вигляді нескінченного гнучкого елемента, на якому закріплені граблини [5, 6]. Це дозволяє забезпечити безперервний зріз, очистку зони різання і транспортування з неї зрізаних стеблин при повному врівноваженні пристрою, що виключає вібрацію.

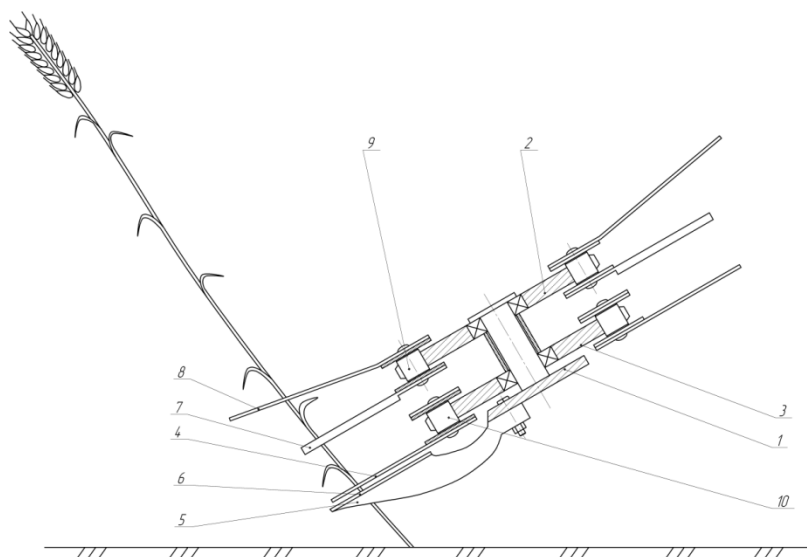


Рисунок 2. Різальний пристрій з різальним апаратом на основі нескінченного ланцюга. Вид з боку

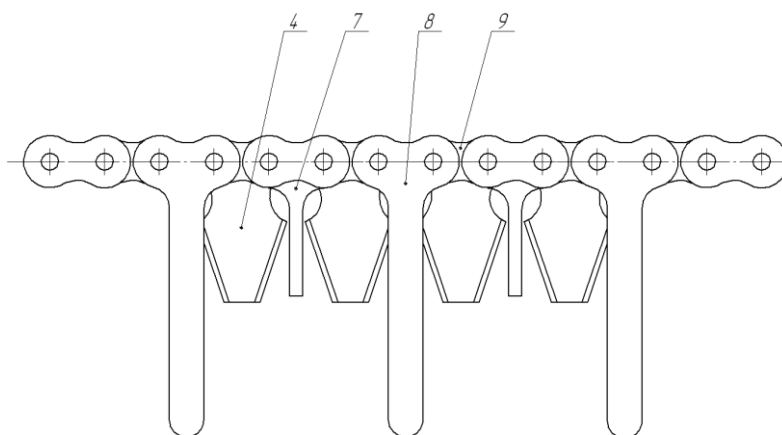


Рисунок 3. Фрагмент різального пристрою з різальним апаратом на основі нескінченного ланцюга. Вид зверху



Різальний пристрій містить: різальний апарат 1 на основі нескінченного ланцюга 10, на якому закріплені сегментні ножі 4 (рис. 2, 3). Нескінченний ланцюг приводиться до руху зірочкою 3 і обертається без коливань над протирізальними пальцями 5 з протирізальними пластинами 6. Над різальним апаратом розташовано транспортуючий механізм 9 у вигляді нескінченного гнучкого елемента з жорстко закріпленими на ньому граблями 7, які встановлюються паралельно площині різального апарата. На відстані, що дорівнює ходу ножа від граблів 7, на гнучкому елементі 9 під кутом до них жорстко кріпляться грабліни 8. Транспортуючий механізм 9 приводиться до руху зірочкою 2.

Різальний пристрій працює таким чином. Стеблини зрізуються різальним апаратом 1 на основі нескінченного ланцюга 10 за рахунок взаємодії сегментних ножів 4 та протирізальних пластин 6. В момент зрізання грабліна 7 взаємодіє з рослинами та переорієнтує їх так, що в результаті зрізані стеблини попадають на грабліни 8, які закріплені на гнучкому елементі 9. Зрізана маса переміщується на граблях 8 над зоною різання до місця формування валка. Зона зрізання постійно очищується від зрізаних стеблин граблями 7. Очищення граблів 8 здійснюється за рахунок різкого збільшення лінійної швидкості в момент розгортання граблів.

Наступний варіант, це коли мета досягається тим, що в різальному апараті у вигляді нескінченного тягового елемента з сегментними ножами, для очистки зони різання та відводу зрізаних стеблин, встановлено транспортуючі грабліни, таким чином рух граблів синхронізований з рухом сегментних ножів. Це дозволяє забезпечити безперервний зріз, очистку зони різання і транспортування з неї зрізаних стеблин.

Різальний апарат містить: нескінченний ланцюг 1, на нижній площині якого закріплені сегментні ножі 2, на верхній площині нескінченного гнучкого тягового елемента 1 жорстко закріплені транспортуючі грабліни 3 (рис. 4, 5). Сегментні ножі 2 обертається без коливань над протирізальними пальцями. Для забезпечення якісного зрізу рослин різальний апарат встановлений під кутом до горизонту.

Різальний апарат працює наступним чином. Стебла зрізуються сегментними ножами 2. В мить зрізу грабліна 3 взаємодіє боковою поверхнею з рослинами та переорієнтує їх таким чином, що вони опиняються на верхній поверхні грабліни 3. Зрізана маса переміщується на граблях 3 над зоною різання до місця формування валка. Зона різання постійно очищується від зрізаних стеблин граблями 3. Очищення граблів 3 здійснюється за рахунок різкого збільшення лінійної швидкості в момент розвороту граблів.

При використанні двох останніх варіантів є можливість

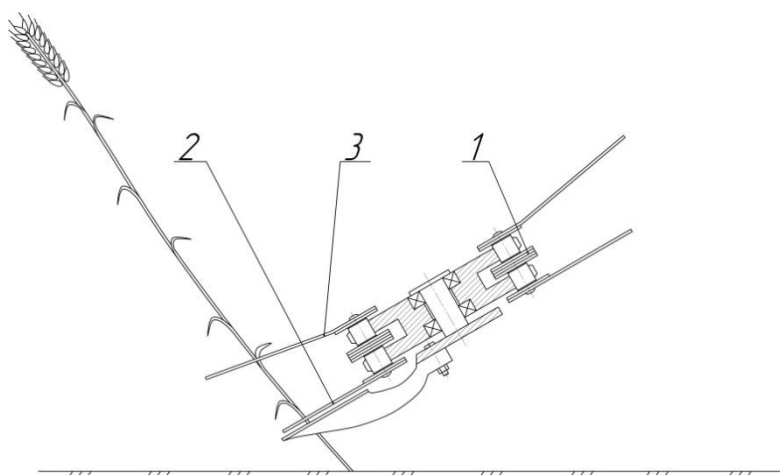


Рисунок 4. Різальний пристрій з одним нескінченним ланцюгом. Вид з боку

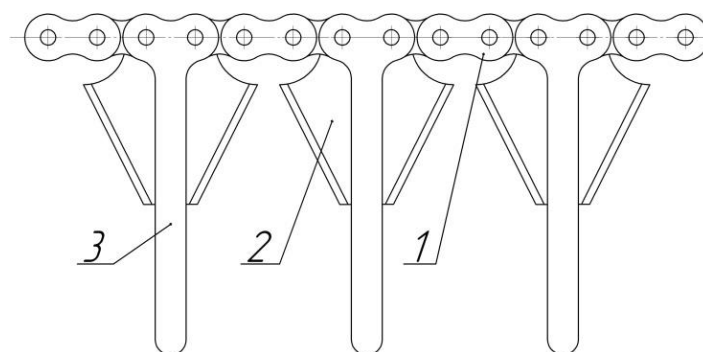


Рисунок 5. Фрагмент різального пристрою з одним нескінченним ланцюгом. Вид зверху

встановлення двох активних відбиваючих вальців, які утворюють єдине ціле з зірочками транспортуючого механізму. Тим самим поліпшується пропуск зрізаних стебел, повністю очищується зона різання у районі вихідного вікна [7, 8].

Висновок. В процесі вивчення механіко-технологічних особливостей взаємодії обчесаних стебел з робочими органами різального пристрою були вирішені наступні завдання: обрана схема транспортування потопаючої маси стебел, що формує і укладає валок між рушіями комбайна; в результаті кінематичного аналізу транспортуючого механізму було визначено, що в місці розвороту граблини складаються сприятливі умови для очищення його від стебел і формування валка. Фізичне моделювання процесу взаємодії стебла з відбиваючою поверхнею валкоутворювача визначило умови, що забезпечують зміну напрямку руху зрізаних стеблин в потрібну область простору.

Розроблена фізична модель процесу взаємодії стебла з поверхнею валкоутворювача у вигляді двох відбиваючих вальців, які утворюють єдине ціле з зірочками транспортуючого механізму, дає можливість



розробити і виготовити лабораторно - польову установку для фізичного моделювання процесу взаємодії зрізаних стебел з обертаючою поверхнею валкоутворювача [8].

Використання такого апарату зменшить вібрацію різального пристрою та підвищить якість очищення граблин в зоні формування валка.

Список використаних джерел

1. Шабанов П. А., Данченко Н. Н., Голубев И. К. Уборка зерновых культур очесыванием растений на корню. АПК. *Достижения науки и техники*. 1990. №2.

2. A new harvesting technology and its stripper-featured machine system. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 1991. Vol. 22. No. 3. Pp. 9–14.

3. Kiurchev S., Shokarev O., Rud A., Gorbovy O. Results of experimental research in separator dielectric aspiration channel. *Engineering for Rural Development*. Vol. 20. 2021. Pp. 1611–1616. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF346.

4. Шокарев А. Н. и др. А. С. 1601971 СССР, Режущее устройство сельскохозяйственных машин. Б.И. 1990 №20.

5. Шокарев О.М. Обґрунтування технологічної схеми та основних параметрів різального пристрою рисозбирального комбайну обчисувального типу. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня к. т. н. Луганськ.: ЛНАУ, 2002.

6. Шегеда К. О., Данченко М. М. Кінематичний аналіз транспортуючого механізму різального пристрою комбайна обчисувального типу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенко*. Технічні науки. Вип.156. Харків, 2015.

7. Шегеда К. О., Шокарев О. М., Шокарев О. О. Механіко-технологічні особливості взаємодії обчесаних стебел з робочими органами різального пристрою Праці ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15, т. 3. 360 с.

8. Sheheda K., Kiurchev S., Danchenko M., Mykhailova L. Results of research of combine harvester cutterbar. *Engineering for Rural Development*. Vol. 20. P. 2021. 1632–1637. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF350.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2022 р.



**O. Shokarev, K. Sheheda, B. Boltianskyi, O. Shokarev
Dmitry Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine²**

**CUTTING DEVICES FOR HARVESTING THE NON-GRAIN PART OF THE
HARVEST IN COMBINE HARVESTING OF GRAIN CROPS BY THE
METHOD OF PLANTS AT THE ROOT**

Summary

New combine harvester technology for grain crops also includes combing the plants at the root. However, harvesting of the combed stalks is still a major constraint on the widespread use of the new harvesting technology. The segmented tine cutter with reciprocating blade movement is the most compact and technologically reliable for cutting the combed stalks. A conveyor mechanism designed as an endless chain loop with rakes attached to it is used to clean the cutting area. Rakes are positioned above the cutter bar parallel to the plane of the segments on which the cut stalks are transported to the exhaust window zone. However, using the small-sized above-mentioned cutter bar raises the problem of balancing transverse vibrations and rake clearing in the windrow formation zone. The geometric parameters of a cutting unit based on an endless chain with an active windrower are grounded in the article. A system of equations for determining the range of possible impact point values on the surface of the reflecting roller is obtained. This is used in modeling the interaction of the stalk with the surface of the rollers. This system of equations also makes it possible to determine the maximum height that the stalk can reach in its turning. This is necessary to substantiate the height of the rollers. When studying the mechanical and technological features of interaction between the combed stalks and the working elements of the cutting unit, the following tasks were solved: the chosen scheme of stalks transport forms and places the swath between the working organs of the combine harvester; as a result of kinematic analysis of the transporting mechanism it has been determined that at the place of rake turning there are good conditions for cleaning this mechanism from the stalks and forming a swath. A physical model of the interaction of the stems with the surface of the windrower in the form of two reflecting rollers that form a single unit with the sprockets of the conveying mechanism has been developed. Using such unit would reduce the vibration of the cutter and improve the quality of cleaning the rake in the windrow forming zone.

Key words: combing plants, cutting unit, windrower



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-7

УДК 637.134.001.5

О. Г. Скляр¹, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр¹, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

О. М. Шокарев¹, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8646-4524

С. В. Сиротюк², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9966-6299

¹Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

²Львівський національний аграрний університет

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. В статті означено, що ненадійна машина - це основна ознака втрати ефективності її застосування, так як кожна її зупинка через пошкодження механізмів або зниження технічних характеристик вузлів з втратою техніко-експлуатаційних параметрів призводить не тільки до великих матеріальних збитків, а й впливає на погіршення стану виробничої та техносферної безпеки. Визначено, що гомогенізатори молочних продуктів працюють в умовах середнього і сильного ступеня агресивного впливу технологічного середовища. Дослідження показують низьку експлуатаційну надійність клапанного механізму і плунжерів високого тиску гомогенізаторів. Всмоктувальні і нагнітальні клапани мають складну форму з поверхнями. Кожна з цих поверхонь має свої особливості зношування. Напрямна зношується від матеріалу, що переміщається по ній і тому на поверхні формуються раковини. Створювані раковини в пазах напрямних орієнтовані вздовж напрямку переміщення продукту і можуть бути віднесені до хіміко-механічного зношування, яке відповідає окислювальному зношуванню, що відбувається при високому тиску і наявності поверхнево-активних речовин. До найбільш інтенсивного зношування схильна запірні фаска, на якій чітко проглядається деформація матеріалу за межі фаски. Сідло клапана схильне до тих же руйнувань, що і клапан. Відшарування металу на запірній фасці аналогічне відшаруванню на клапані. Гомогенізуючі клапани і сідла мають аналогічний характер зносу до всмоктуючих і нагнітальних клапанів та сідел.

Ключові слова: механічна обробка молока, гомогенізатор молочних продуктів, клапанний механізм, плунжер, довговічність.



Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку машинобудування, коли, в основному, вирішені питання кількості машин, великого значення набуває проблема підвищення їх якості та надійності. Підвищення надійності машин є важливим завданням будь-якої галузі господарства. Наука про надійність техніки вивчає закономірності зміни показників працездатності машин з часом, а також фізичну природу відмов і на цій основі розробляє методи, що забезпечують потрібну довговічність та безвідмовність роботи машин із найменшими витратами часу і коштів [1-4]. Надійність машин необхідна для підвищення рівня автоматизації, зменшення витрат на ремонт, збитків від простою обладнання, забезпечення безпеки людей. Більш надійна техніка дозволяє збільшити продуктивність праці, коефіцієнт використання машин і зменшити експлуатаційні витрати. Вирішення проблеми надійності - це значний резерв підвищення ефективності виробництва, зменшення матеріальних збитків і запобігання виникненню відмов машин. Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами проектування, виготовлення та використання машини, починаючи з моменту формування ідеї створення машини і до прийняття рішення про її списання. Отже, проблема надійності є комплексною і потребує вирішення у сферах виробництва та експлуатації машин, акумулює і синтезує все те, що сприяє підвищенню працездатності машин [5-9].

В процесі експлуатації технічний стан машини постійно змінюється з різними швидкостями втрати працездатності. Якщо машина, її механізми та вузли ненадійні, то відбудеться часткова або повна втрата працездатності, що змушує відновлювати її до заданого рівня за рахунок організації і проведення технічного обслуговування і ремонту. Ненадійна машина - це основна ознака втрати ефективності її застосування, так як кожна її зупинка через пошкодження механізмів або зниження технічних характеристик вузлів з втратою техніко-експлуатаційних параметрів призводить не тільки до великих матеріальних збитків, а й впливає на погіршення стану виробничої та техносферної безпеки [10-13].

В результаті підвищення довговічності деталей машин скорочуються витрати запасних частин і матеріалів на їх виготовлення, зменшується кількість працюючих і трудомісткість при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті [14-16]. Проблема надійності і довговічності є однією з основних, що визначає ефективність роботи будь-якого виробництва. Але для підприємств переробних галузей вона набуває особливого значення.

Втрати працездатності обладнання внаслідок відмов приводять до простоїв, значних витрат на ремонт та запасні частини, а також до псування цінної харчової сировини, напівпродуктів і продукції [17]. У



більшості випадків довговічність обладнання переробних і харчових виробництв пов'язана з проблемою спрацювання окремих деталей та вузлів. Подальше впровадження та розширення області застосування гомогенізації, оснащення підприємств високопродуктивними установками для комплексної обробки молока висувують завдання по створенню гомогенізаторів з високими технологічними та експлуатаційними показниками. Проводиться велика робота по створенню машин сучасних моделей для молочних продуктів різних вязкостей з уніфікованими вузлами і деталями, а, також з підвищеними експлуатаційними показниками. Тому підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя є основним напрямком підвищення надійності і довговічності обладнання [18,19].

Аналіз останніх досліджень. У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які є між собою в дуже складних кореляційних залежностях.

Дослідження Ш. Кулона стали основою для створення формального вчення про тертя в механіці та інженерній справі, в розробленні якого брали участь вчені Д. Леслі, Л. Гюмбель, Г. Лейбніц, С. К. Котельніков, А. В. Вишнеградський та інші. Подальший розвиток науки про зовнішнє тертя був пов'язаний із загальним прогресом науки і техніки, різким розширенням і ускладненням умов зовнішнього тертя, розробленням і застосуванням нових матеріалів, накопиченням спостереження, які реєстрували відхилення від закону Амонтона-Кулона. Наближений характер закону і його обмежене застосування ставали все очевиднішими [20-23].

Значний вклад у розвиток сучасної світової науки про тертя і зношування в машинах внесла українська школа, яку створив професор Б. І. Костецький. Відомими й визнаними представниками цієї школи є професори Л. І. Бершадський, І. Г. Носовський, П. В. Назаренко, Г. А. Прейс та інші. Б. І. Костецький і його учні зробили цілий ряд фундаментальних відкриттів у проблемі тертя. Процеси тертя і зношування є складними і залежать від ряду факторів, для розуміння яких необхідний синтез знань в областях механіки, теоретичної фізики, фізичної хімії, термодинаміки, металознавства, фізики твердого тіла та ін. У зв'язку з цим нині існують різні уявлення про явища, що відбуваються на поверхні контакту твердих тіл при терті. Численні дослідження зносостійкості матеріалів у технологічних середовищах харчових виробництв проведені Г. О. Прейсом, М. А. Сологубом, О. І. Некозом, Ю. Г. Сухенком з співробітниками, але залишається ще ряд невирішених питань [24-27].

Формулювання цілей статті. Дослідити характер зносу основних деталей гомогенізатора молочних продуктів та визначити шляхи



забезпечення їх довговічності.

Основна частина. Зношування обладнання харчової промисловості, підкоряючись в більшості випадків загальним закономірностям, встановленим для контакту твердих тіл, має свою специфіку, яка полягає в тому, що робочі органи зношуються не внаслідок контакту з іншими деталями, а в результаті взаємодії з продуктами переробки [28-30].

Процес зношування деталей - це досить складне явище, яке супроводжується локалізованими в тонких поверхневих шарах деталей машин процесами деформації, утворення і руйнування містків зчеплення, топографічними і структурними змінами поверхонь, хімічною взаємодією сполучених деталей між собою й зовнішнім середовищем. Останнє має особливе значення для деталей обладнання харчових виробництв. На відміну від інших галузей, робота обладнання переробних і харчових виробництв характеризується безпосереднім контактом поверхонь деталей з сировиною, напівпродуктами та продуктами, які можуть знаходитись у різному стані (здебільшого в рідкому). Тому, в першу, чергу, властивості технологічних середовищ та їх взаємодія з поверхневими шарами деталей визначають характер і особливості зношування обладнання [31-33]. Технологічні середовища переробних виробництв вирізняються значною хімічною і поверхневою активністю, справляють значний вплив на визначальний вид зношування і його інтенсивність. Гомогенізатори молочних продуктів працюють в умовах середнього і сильного ступеня агресивного впливу технологічного середовища.

За своєю природою багато компонентів молочних продуктів і миючих розчинів є поверхнево-активними речовинами, які, як відомо, інтенсифікують процеси пластичного деформування і зношування металів. Дослідження показують низьку експлуатаційну надійність клапанного механізму і плунжерів високого тиску гомогенізаторів. Ці складальні одиниці і деталі забезпечують дроблення і рівномірний розподіл в молочному продукті жирових кульок.

Всмоктувальні і нагнітальні клапани однакові (рис. 1) і мають складну форму з поверхнями, які виконують свої функції в процесі роботи. Кожна з цих поверхонь має свої особливості зношування. Напрямна зношується від матеріалу, що переміщається по ній і тому на поверхні формуються раковини. Створювані раковини в пазах напрямних орієнтовані вздовж напрямку переміщення продукту і можуть бути віднесені до хіміко-механічного зношування, яке відповідає окислювальному зношуванню, що відбувається при високому тиску і наявності поверхнево-активних речовин.



Рисунок 1. Клапан всмоктуючий, нагнітальний

До найбільш інтенсивного зношування схильна запірна фаска, на якій чітко проглядається деформація матеріалу за межі фаски. Більш того, процеси пластичного деформування настільки руйнівні, що призводять до відшарування матеріалу. Останнє обумовлює порушення режиму гомогенізації. Головка клапана має характерні ознаки наклепу поверхні.

Сідло клапана (рис. 2) схильне до тих же руйнувань, що і клапан. Відшарування металу на запірній фасці аналогічне відшаруванню на клапані. Зовнішні поверхні мають характерні ознаки наклепу.

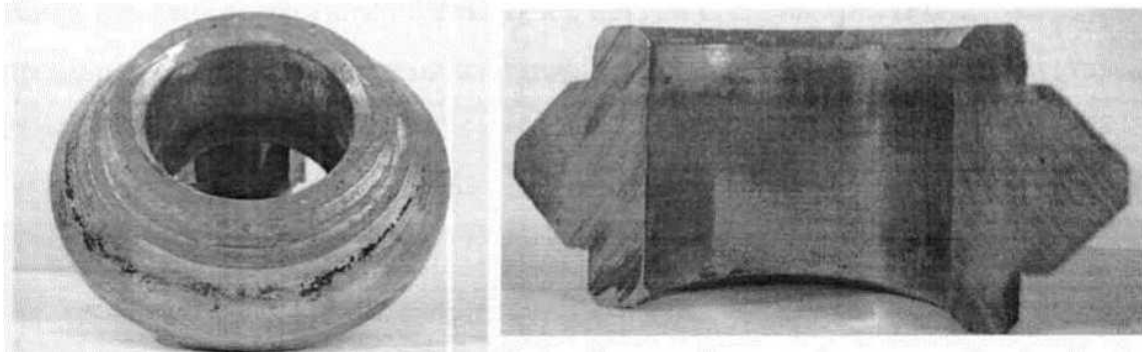


Рисунок 2. Сідло клапана

Гомогенізуючі клапани і сідла мають аналогічний характер зносу до всмоктуючих і нагнітальних клапанів та сідел. Також зношується запірна фаска сідла і клапана, на яких видно раковини. Напрямні клапанів мають ще більш виражений характер зносу, що пов'язано з пульсацією продукту, що піддається гомогенізації і несталим становищем клапана.

Плунжер високого тиску (рис. 3) зношується нерівномірно. Так, поверхня з боку носка плунжера практично не зношена і зберігає сліди механічної обробки, яка склалася при виготовленні плунжера (рис. 4, зліва), а з іншого боку (рис. 4, праворуч) поздовжні риски також закінчуються, не доходячи до кінця, що відповідає робочому ходу

плунжера.

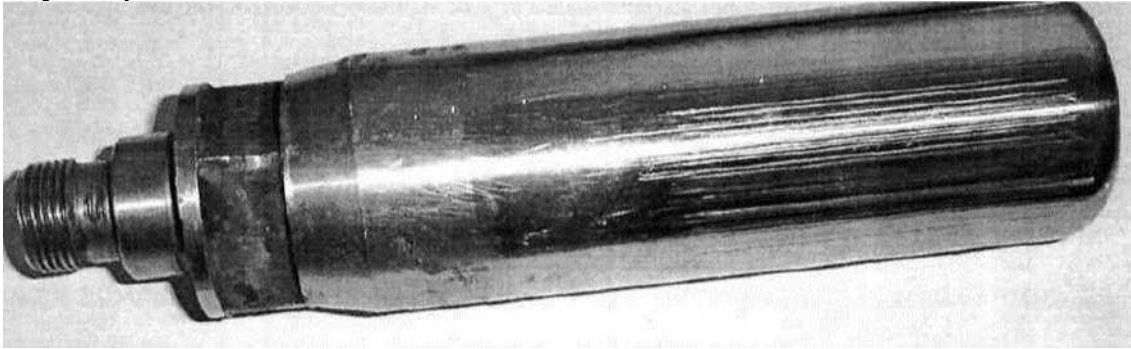


Рисунок 3. Плунжер високого тиску

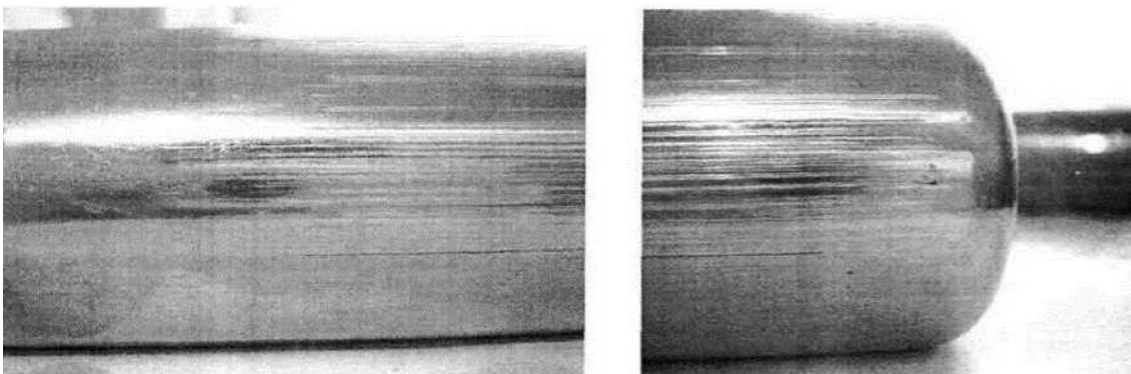


Рисунок 4. Характер зносу плунжера (перехідні зони)

На рисунках видно, що по всій робочій поверхні є досить глибокі поздовжні риси, характерні для всіх зношених плунжерів. Найбільший знос поверхні плунжера по діаметру виявляється в крайніх точках робочого ходу, тобто там, де плунжер зупиняється і змінює напрямку руху. Слід також відзначити те, що плунжери працюють при гарантованому зазорі з плунжерним блоком і контактують тільки з ущільненням, твердість якого значно нижче матеріалу плунжера. При цьому зовнішній вигляд характеру зносу поверхні плунжера під час макроаналізу носить виражений абразивний характер.

На переробних підприємствах термін служби деяких видів обладнання визначається, в значній мірі, корозійною стійкістю деталей. Але в більшості випадків процес спрацювання і руйнування поверхневих шарів деталей в умовах тертя має корозійно-механічний характер, який залежить від складу і корозійних властивостей середовища та інтенсивності механічного навантаження. Враховуючи, що більшість технологічних процесів харчової промисловості і переробних виробництв відбувається в рідкій фазі, значна частина деталей обладнання піддається дії швидкоплинних потоків рідин, що спричиняє їх інтенсивне кавітаційно-ерозійне зношування. Внаслідок цього виходять з ладу деталі проточної частини відцентрових насосів, центрифуги, сепаратори, гомогенізатори, арматура та ін.



Відомо, що забезпечення надійності і довговічності обладнання ґрунтується на виконанні певних умов і заходів на етапах проектування, виготовлення та експлуатації. Враховуючи, що при сучасному рівні проектування й міцністних розрахунків ймовірність раптових відмов досить незначна і вони, в більшості випадків, виявляються і усуваються під час налагодження обладнання, зносостійкість деталей є визначальним чинником у вирішенні проблеми забезпечення їх довговічності. Тому засобом боротьби зі спрацюванням деталей приділяється особлива увага на всіх ви значених вище етапах. Вирішальна роль відводиться раціональному вибору матеріалів і технологічним методам поверхневої обробки деталей.

У промисловості існує багато технологічних методів впливу і керування складом, структурою і властивостями поверхневих шарів деталей обладнання. Усе більшого поширення вони набувають і на підприємствах переробного комплексу. Раціональне використання цих методів не лише при виготовленні, але також і при відновленні деталей дозволяє значно збільшити термін їх служби.

Висновки. Стосовно обладнання переробних і харчових виробництв основними напрямками забезпечення надійності і довговічності обладнання можуть бути: зменшення інтенсивності корозійної взаємодії поверхонь тертя деталей з технологічними середовищами; зміна умов і параметрів навантаження зони контакту, яка б забезпечила реалізацію тільки допустимих видів зношування; підвищення опору спрацюванню деталей обладнання завдяки застосуванню зносо- та корозієстійких покриттів.

Список використаних джерел

1. Boltianskyi B., Sklyar R., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes*. 2021, 9(7), 1144; <https://doi.org/10.3390/pr9071144>
2. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference*. 2019. P. 18-20.
3. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux. 2020. P. 478-480.
4. Маніта І.Ю. Питання цифровізації сільського господарства в Україні. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф.*



Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 346-350. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/manita-2020.pdf>

5. Skliar R. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Bilbao. 2020. P. 431-433.

6. Комар А.С. Забезпечення надійності складних систем. *Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: Тези УІ Міжн. наук.-практ. конф.* Умань: УНУС, 2020. С. 149-152.

7. Podashevskaya H., Sklar R. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

8. Serebryakova N. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.

9. Podashevskaya H., Manita I. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНУСГ, 2020. №2(16). С. 33 - 37.

10. Serebryakova N. Selection of optimal modes of heat treatment of grain. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 20-24.

11. Manita I. Areas of application of nanotechnologies in animal husbandry. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали. II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 357-361. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/podashevskaya-2020.pdf>

12. Маніта І. Ю. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків: ХНУСГ, 2020. № 21 С. 139-147.

13. Болтянська Н. І., Маніта І. Ю. Інноваційний розвиток техніки для молочного скотарства. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2020-vypusk-10-tom-2.pdf>

14. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. *Theory, practice and science*. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255-257.

15. Непарко Т. А. Технічні засоби для механізації технологічних процесів на тваринницьких фермах. *Сучасні проблеми землеробської механіки: Збірник тез доповідей ХХН Міжн. наук. конф.*



Київ. Ніжин, 2021. С. 83-86.

16. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. *Multidisciplinary academic research*. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83-86.

17. Komar A. Basic methods of preparation of organic fertilizer from quail manure. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: мат. III Міжн. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 183-187.

18. Boltianska N., Serebryakova N. Safety measures during operation of biogas plant. *OSHAgro - 2021: Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф.* Київ: НУБіП, 2021. С. 22-24.

19. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Технології наукових досліджень: підручник. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2022. 682 с.

20. Skliar O., Neparko T. Increasing the performance of the park of equipment with Telematics. *Інформаційні технології в енергетиці та АПК: матеріали X-ої Міжн. наук.-практ. конф.* ЛНАУ, 2021 р. С. 51-54

21. Boltianska N., Manita I., Komar A. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНУСГ, 2021. №5(19). С. 38 - 42.

22. Boltyansky O. V. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, No 13. P. 49-54.

23. Скляр О.Г., Скляр Р.В, Маніта І. Ю. Механізація доїння і первинної обробки молока: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 401 с.

24. Demyanenko D., Skliar O. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249-258.

25. Boltianska N.L, Boltianskyi O.V., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. С. 27-29.

26. Шокарев О. М. Забезпечення надійності складних систем на різних етапах експлуатації. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Матер. II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 483-487.

27. Boltyanskaya N.I. Indicators of an estimation of efficiency of application of resources but Gauci technologies in animal husbandry. *Bulletin of Sumy national agrarian University. A series of "Mechanization and automation of production processes"*. Amount. 2016. Vol. 10/3 (31). P. 118-121.

28. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment.



Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference. 2017. P. 155-158

29. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific-works of Intern. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine: Research Practice Conf. Nizhin, 2019. P. 84-91.*

30. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б.В. Болтянський, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

31. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. P. 231-233.*

32. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. P. 171-176.*

33. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management. 2021. №1(19). P. 7-12.*

Стаття надійшла до редакції 5.03.2022р.

O. Skliar¹, R. Skliar¹, O. Shokarev¹, S. Syrotyuk²

¹*Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university*

²*Lviv National Agrarian University*

ENSURING THE DURABILITY OF THE MAIN PARTS OF THE DAIRY HOMOGENIZERS

Summary

The article notes that an unreliable machine is the main sign of a loss in the effectiveness of its use, since each stop due to damage to mechanisms or a decrease in the technical characteristics of units with a loss of technical and operational parameters leads not only to great material damage, but also affects the deterioration the state of industrial and technosphere safety. It has been determined that homogenizers of dairy products operate under conditions of medium and strong aggressive action of the technological environment. Studies show low operational reliability of the valve train and high pressure plungers of homogenizers. Suction and discharge valves are complex shapes with surfaces that have their own wear characteristics. The guide wears out from the material that moves along it and therefore pits form on the surface. The created cavities in the grooves of the guides are oriented along the direction of movement of the product and can be attributed to chemical-mechanical wear, which corresponds to oxidative wear, which occurs at high pressure and the presence of surfactants. The valve seat is subject to the same damage as the valve. The metal delamination on the locking chamfer is similar



to the delamination on the valve. Homogenizing valves and seats have a similar wear pattern in the suction and discharge valves and seats.

Also the sealing chamfer of the seat and valve, which shows pits, is worn out. Valve guides have an even more pronounced wear pattern, which is associated with pulsation of the product, which is subjected to homogenization and an unstable valve position. High pressure plunger does not wear evenly. The greatest wear of the plunger surface in diameter is at the extreme points of the working stroke, that is, where the plunger stops and changes the direction of movement. It should also be noted that the plungers operate with a guaranteed clearance with the plunger block and contact only with the seal, the hardness of which is significantly lower than the plunger material. In this case, the appearance of the nature of the wear of the plunger surface during macroanalysis has a pronounced abrasive nature.

Key words: mechanical milk processing, dairy homogenizer, valve mechanism, plunger, durability.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-8

УДК 631.3.004.67

Г. І. Дашивець, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2612-6077

А. М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

О. В. В'юник, інж.

ORCID: 0000-0002-6413-5567

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: galyna.dashyvets@tsatu.edu.ua

ВПЛИВ РІВНЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА НА ЯКІСТЬ РЕМОНТУ МАШИН

Анотація. Основною метою роботи було виявлення і дослідження комплексних та одиничних показників рівня інженерної підготовки сервісного підприємства, які впливають на якість ремонту машин. Інженерна підготовка виробництва включає контроль і підтримання стабільності технологічного процесу, організацію робочих місць і праці виконавців. Виконано ранжування показників, за результатами експертної оцінки побудовані діаграми коефіцієнтів вагомості для факторів контролю і підтримання стабільності технологічного процесу, організації робочих місць виконавців, організації праці виконавців. Розглянуті фактори дозволили сформулювати основні напрямки підвищення якості ремонту.

Ключові слова: якість ремонту машин, рівень підготовки, експертна оцінка, коефіцієнт вагомості, діаграма, інженерна підготовка виробництва.

Постановка проблеми. Найважливішим завданням сервісного підприємства є забезпечення високої якості продукції, якою є машини, агрегати, вузли та інші об'єкти, що підлягають ремонту або обслуговуванню. Якість послуг сервісного підприємства характеризується різними показниками, які залежать від виду продукції. Так, наприклад, основними та найважливішими показниками якості ремонту тракторів є їх тягові зусилля, двигунів – потужність та економічність тощо. Загальними показниками якості ремонту для всіх об'єктів є показники надійності. Про якість продукції сервісного підприємства судять з дотримання технічних умов, креслеників, ДСТУ та технологічних процесів.

Причинами, що викликають випуск із ремонту продукції низької якості, є порушення технічних умов; несправність застосовуваного



обладнання, пристроїв, приладів, ріжучого та вимірювального інструменту, а також використання невідповідних засобів та знарядь праці; застосування для виготовлення та відновлення деталей невідповідних матеріалів; неорганізованість і погана оснащеність робочих місць, недбале зберігання та транспортування об'єктів, що ремонтуються; погані умови роботи – бруд, захаращеність, недостатня освітленість робочих місць, невідповідний температурний режим у приміщенні, забрудненість повітряного середовища, підвищені шуми, вібрації та ін. [1].

Для забезпечення високої якості робіт необхідно визначити показники рівня інженерної підготовки виробництва та їх вплив на якість сервісних послуг.

Аналіз останніх досліджень. Праці ряду науковців, таких як Ю. П. Адлер, Ю. В. Бібик, Р. В. Бичківський, У. Э. Деминг, Дж. Харінгтон О. М. Криворучко, К. Ісікава, Ф. Котлер, Т. Нагао, В. Парето, М. Портер присвячені питанням, пов'язаним з якістю продукції [1-5]. Система якості розглядається як сукупність організаційної структури, процесів і ресурсів.

Формулювання мети статті: дослідження показників рівня інженерної підготовки виробництва, що впливають на якість ремонту машин в умовах сервісного підприємства.

Основна частина. Високу якість ремонту машин можливо досягнути належним контролем всіх стадій технологічного процесу. Важливе місце в організації контролю займає технічний стан ремонтного фонду, дефектація деталей по групах придатності, операції з відновлення деталей, включаючи механічну обробку, комплектування деталей, складання, фарбування і випробування готових вузлів, агрегатів і всієї машини в цілому.

На операціях контролю-сортування деталей повинні застосовуватися граничний інструмент і дефектоскопія прихованих дефектів, при механічній обробці – засоби активного контролю розмірів і вибіркового контролю якості поверхонь (твердість, шорсткість). Вимірювальний інструмент, а також засоби контролю різних параметрових вузлів і агрегатів повинні піддаватися метрологічній перевірці [6]. Контроль при комплектуванні деталей повинен передбачати перевірку підбору деталей за розміром, вагою, балансування деталей обертання відповідно до технічних умов.

Точність складання вузлів, агрегатів і машини в цілому повинна дотримуватися і контролюватися на всіх основні операціях з взаємного розташування деталей у всіх вузлах і агрегатах.

Випробування зібраних вузлів і агрегатів на спеціальних стендах і суворе дотримання технічних умов на випробування має бути обов'язковою умовою забезпечення високої якості.



Велике значення у підвищенні якості ремонту машин має технічний стан обладнання та технологічного оснащення [7]. Верстатне обладнання і контрольні пристрої повинні піддаватися періодичній перевірці на забезпечувану точність; проводиться механічні випробування матеріалів, структурний та хімічний аналізи, контроль засобів вимірювання та обладнання, що проводяться окремими спеціалізованими сертифікаційними лабораторіями [6]. Відомості про надійність відремонтованих машин в експлуатації, облік та аналіз рекламацій з різних відмов та несправностей сприяють виявленню вузьких місць з метою вжиття належних заходів щодо вдосконалення організації та технології ремонту.

В роботі [8] було розроблено «дерево цілей» рівня виробничих ресурсів, які впливають на якість ремонту машин, за допомогою робочої групи експертів (спеціалістів технічного сервісу) [9]. В свою чергу ці комплексні фактори складаються з ряду одиничних.

Якість інженерної підготовки виробництва залежить від контролю і підтримання стабільності технологічного процесу, організації робочих місць виконавців, організації праці виконавців.

Ранжування всіх показників було встановлено за результатами експертної оцінки вагомості комплексних та одиничних факторів виробничих ресурсів. Були введені одиничні показники та п'ять ступенів можливих їх значень. Співвідношення між ступенями одиничних факторів (дуже високий, високий, середній, низький, дуже низький) були прийняті 4 : 3 : 2 : 1 : 0.

При призначенні ступеню одиничних показників виходили з наступних міркувань. Як дуже високим рівнем прийнятий такий стан інженерної підготовки виробництва, при якому витримуються умови нормативно-технологічної документації та забезпечується якість ремонту, яке відповідає підвищеному ресурсу.

Високий рівень орієнтовно визначає 1 категорію якості, середній рівень – той, що склався в середньому стан виробничих ресурсів, а низький та дуже низький рівні – недопустимі значення інженерної підготовки виробництва, коли слід приймати термінові заходи на підприємствах, де це має місце.

На підставі таблиці 1 була розроблена анкета, з якої проведено ранжирування всіх показників. В таблиці вказана встановлена за результатами експертної оцінки вагомості комплексних та одиничних факторів інженерної підготовки виробництва.

Коефіцієнти вагомості визначаються для факторів, що входять в дерево цілей. Коефіцієнт вагомості – кількісна характеристика ступеню значущості конкретного показника для оцінки якості [10].

Результати розрахування коефіцієнтів вагомості факторів, що характеризують інженерну підготовку виробництва, наведені в



Таблиця 1

Ознаки інженерної підготовки виробництва

Найменування	Рівні ознак
1	2
А – контроль та підтримка стабільності технологічного процесу	
контроль операцій складання, обкатування, випробування вузлів та двигуна	<ul style="list-style-type: none">- відділ технічного контролю (ВТК) на всіх стадіях ремонту- ВТК проводить стендові випробування та проміжні перевірки- ВТК проводить стендові випробування- вибірково ВТК, а в основному перевіряється виконувачем- тільки виконувачі
контроль режимів ремонту деталей, миття, ін.	<ul style="list-style-type: none">- постійно ВТК, майстрами та механіками- вибірково майстрами та ВТК- при необхідності ВТК- тільки виконувачами- практично не контролюється
контроль та підтримка параметрів води, змащення, повітря та ін.	<ul style="list-style-type: none">- постійно контролюється та забезпечується- контролюється, але є невелике відхилення від технічних умов (ТУ) одного параметра- вибірково контролюється, але є суттєві відхилення від ТУ одного або 2-3 несуттєвих параметрів- не контролюється, є суттєві відхилення кількох параметрів- не контролюється
вхідний контроль запасних частин та матеріалів	<ul style="list-style-type: none">- повний, в тому числі прихованих дефектів- повний, але без прихованих дефектів- вибірково- по необхідності- практично не проводиться
контроль тривалості та повноти операцій	<ul style="list-style-type: none">- систематичний, повний- систематичний, але не повний- вибірково- по необхідності- практично не проводиться



Продовження таблиці 1

1	2
Б – організація робочих місць виконавців	
організаційно-технічний рівень планування робочого місця	<ul style="list-style-type: none">- відмінні умови праці- у повній відповідності з картою робочого місця (нормальні умови праці)- незначні відхилення по ергономіці, естетиці- суттєві відхилення по ергономіці, естетиці- погані умови праці
забезпеченість НТД	<ul style="list-style-type: none">- повністю технологічні та операційні карти- повністю технологічні карти- загальні ТУ без технологічних карт- частково ТУ- немає НТД
механізація праці	<ul style="list-style-type: none">- забезпечуються приємна праця, зручна поза та невеликі зусилля- забезпечуються легка праця, зручна поза та великі зусилля- задовільна праця- скрутна праця. незручна поза та великі зусилля- важка праця, використовується кувалда
умови охорони праці	<ul style="list-style-type: none">- повністю забезпечуються- забезпечуються- недостатність вентиляції або освітлення- недостатність вентиляції та освітлення- погане освітлення, бруд, немає вентиляції
В – організація праці виконавців	
форма організації праці	<ul style="list-style-type: none">- бригадна, з повною зацікавленістю в якості та кількості роботи- бригадна без коефіцієнта трудової участі- не зовсім відпрацьована бригадна форма- ланкова робота- індивідуальна робота



Продовження таблиці 1

1	2
нормування та оплата праці	<ul style="list-style-type: none"> - технічно обґрунтовані норми, преміювання за якість та кількість - технічно обґрунтовані норми, преміювання в основному за кількість - відрядно-преміальна - відрядна або погодинно-преміальна - погодинна оплата праці
робота майстрів (планування, постановка конкретних задач, забезпечення матеріалами)	<ul style="list-style-type: none"> - довгострокове, чітке планування - планування на 1-2 дня - іноді організаційні зриви роботи - переважає самоорганізація праці робочих - часті авральні роботи

таблицях 2, 3 і показані на діаграмах.

Таблиця 2

Діаграми коефіцієнтів вагомості показників інженерної підготовки виробництва

Показник	Діаграма коефіцієнтів вагомості показників								
А Контроль і підтримання стабільності технологічного процесу	<table border="1"> <caption>Дані для Діаграми коефіцієнтів вагомості показників</caption> <thead> <tr> <th>Показник</th> <th>Коефіцієнт вагомості</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>А</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>Б</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>В</td> <td>0,35</td> </tr> </tbody> </table>	Показник	Коефіцієнт вагомості	А	0,35	Б	0,25	В	0,35
Показник		Коефіцієнт вагомості							
А		0,35							
Б	0,25								
В	0,35								
Б Організація робочих місць виконавців									
В Організація праці виконавців									

Без відповідної інженерної підготовки (розробка та контроль технології, налагодження технологічного процесу, організація робочих місць та т.п.) матеріальна база має тільки потенціальну зможу реалізації технології, практично ж є складом обладнання, запасних частин та матеріалів. Інженерна підготовка сприяє перетворенню «сховища» в роботоздатну виробничу базу.



Таблиця 3

Діаграми коефіцієнтів вагомості показників інженерної підготовки виробництва

Показник	Діаграма коефіцієнтів вагомості показників												
А Контроль і підтримання стабільності технологічного процесу													
1 – виконання контролю завершальних операцій складання, обкатки, випробування вузлів та двигуна 2 – контроль режимів відновлення деталей 3 – контроль і підтримання параметрів матеріалів 4 – вхідний контроль запасних частин та матеріалів 5 – контроль тривалості та повноти операцій	<table border="1"><thead><tr><th>Категорія</th><th>Коефіцієнт вагомості</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0,31</td></tr><tr><td>2</td><td>0,09</td></tr><tr><td>3</td><td>0,16</td></tr><tr><td>4</td><td>0,25</td></tr><tr><td>5</td><td>0,19</td></tr></tbody></table>	Категорія	Коефіцієнт вагомості	1	0,31	2	0,09	3	0,16	4	0,25	5	0,19
Категорія	Коефіцієнт вагомості												
1	0,31												
2	0,09												
3	0,16												
4	0,25												
5	0,19												
Б Організація робочих місць виконавців													
1 – організаційно-технічний рівень планування робочого місця 2 – забезпеченість НТД 3 – механізація праці 4 – умови охорони праці	<table border="1"><thead><tr><th>Категорія</th><th>Коефіцієнт вагомості</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0,32</td></tr><tr><td>2</td><td>0,27</td></tr><tr><td>3</td><td>0,24</td></tr><tr><td>4</td><td>0,17</td></tr></tbody></table>	Категорія	Коефіцієнт вагомості	1	0,32	2	0,27	3	0,24	4	0,17		
Категорія	Коефіцієнт вагомості												
1	0,32												
2	0,27												
3	0,24												
4	0,17												
В Організація праці виконавців													
1 – форма організації праці 2 – нормування і оплата праці 3 – праця майстрів (планування, постановка конкретних завдань, забезпечення матеріалами)	<table border="1"><thead><tr><th>Категорія</th><th>Коефіцієнт вагомості</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0,28</td></tr><tr><td>2</td><td>0,35</td></tr><tr><td>3</td><td>0,37</td></tr></tbody></table>	Категорія	Коефіцієнт вагомості	1	0,28	2	0,35	3	0,37				
Категорія	Коефіцієнт вагомості												
1	0,28												
2	0,35												
3	0,37												



В комплексному факторі інженерної підготовки виробництва на перше місце поставлена організація праці виконавців, так як від чіткості постачання та розпоряджень, вмілого маневрування трудовими та матеріальними ресурсами, від рівня нормування, оплати та самоорганізації праці залежить кількість та якість виробленої продукції.

Організація праці виконавців багато в чому визначається якістю роботи майстрів з безпосередніми виконавцями. На перше місце становиться конкретність планування, чіткість вказівок майстрів та матеріальне забезпечення робіт. Важливим фактором, який впливає на якість праці, являється нормування та облік кількості та якості праці, так як у використанні якісних показників та науково обґрунтованих норм в найбільшій мірі поєднуються інтереси підприємств та виконавців.

Організація контролю та забезпечення стабільності технологічного процесу, яка включає до себе контроль справності обладнання, оснастки та інструмента, технологічних параметрів робочих рідин, контроль технологічного процесу та результату роботи виконавців в показнику інженерної підготовки виробництва поставлена на друге місце. Найбільшу вагомість (31%) отримав показник контролю заключних операцій складання, обкатування та випробування вузлів, агрегату та машини. У зв'язку з низькою якістю запасних частин, які поставляються, на друге місце поставлений вхідний контроль запасних частин та матеріалів.

В показнику організації робочих місць найбільше вагомий рівень організаційно-технічного планування з позицій наукової організації праці (робоча зона, конструкція та розміщення стелажів, верстаків та інше). Важливим фактором є забезпеченість робочого місця нормативно-технологічною документацією та засобами механізації ручної праці (знімачі, підйомно-транспортні пристрої, установчі пристосування та ін.). Позитивно позначаються на якості ремонту також естетичність робочого місця, стан охорони праці та техніки безпеки.

Висновки. З метою дослідження факторів, що впливають на якість інженерної підготовки виробництва, за допомогою робочої групи експертів (спеціалістів технічного сервісу) були розраховані коефіцієнти вагомості комплексних та одиничних факторів, що характеризують ознаки виробничих ресурсів, розроблені діаграми.

Впливати на одиничні фактори можливо шляхом відповідного підняття рівня інженерної підготовки: вдосконаленням робочих місць та впровадженням більш вдосконалених форм праці, посиленням контролю за всіма стадіями технологічного процесу.



Список використаних джерел

1. Криворучко О. М. Менеджмент якості на підприємствах автомобільного транспорту: теорія, методологія і практика. Монографія. Харків : ХНАДУ, 2006. 404 с.
2. Ben-Daya M., Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf. Maintenance, Modeling and Optimization. New York, Springer Science Business Media, 2000. 474 p.
3. Campbell J. D., Andrew K. S. Jardine. Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life–Cycle Decisions Mechanical Engineering. New York, Marcel Dekker Inc., 2001. 495 p.
4. Dhillon B.S. Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 214 p.
5. Nakagawa T. Maintenance. Theory of Reliability. Springer Series in Reliability Engineering: London, Springer. Verlag Limited, 2005. 269 p.
6. Паніна В. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Навчально-методичний посібник до лабораторного практикуму для самостійної роботи. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Електронний посібник. URL: http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_5/index.html.
7. Дашивець Г. І., Паніна В. В. Дослідження факторів, що впливають на якість ремонту двигунів: *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 101–106.
8. Дашивець Г. І., Паніна В. В., Бондар А. М. Вплив рівня виробничих ресурсів на якість ремонту машин: *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 10 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-20.
9. Осовська Г. В., Фіщук О. Л., Жалінська І. В. Стратегічний менеджмент: теорія та практика. Київ: Кондор, 2003. 196 с.
10. Ефимов В. В. Улучшение качества продукции, процессов и ресурсов: учебн. пособие. Москва: КНОРУС, 2007. 223 с.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2022 р.

H. Dashyvets, A. Bondar, O. Viunyk
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

**THE INFLUENCE OF THE LEVEL OF ENGINEERING PREPARATION ON
THE QUALITY OF MACHINE REPAIR**

Summary

The most important task of the service company is to ensure high quality repair and maintenance work. The reasons for the release from the repair of low quality products are



low levels of engineering training. The main purpose of the work was to identify and study complex and individual indicators that characterize the level of engineering training of the service company. Engineering preparation of production includes control and maintenance of stability of technological process, the organization of workplaces and work of executors. High quality machine repair can be achieved by proper control of all stages of the technological process. The ranking of indicators is performed, with a high level indicating approximately 1 category of quality, the middle level - the current state of production resources, and low and very low levels - unacceptable values of engineering preparation of production, when to take urgent measures in enterprises where it takes place. Based on the results of the expert assessment, diagrams of weighting factors for control factors and maintaining the stability of the technological process, the organization of jobs of performers, the organization of work of performers are constructed. In the complex factor of engineering preparation of production the organization of work of executors which is in many respects defined by quality of work of masters with direct executors is put on the first place. The organization of control and stability of the technological process, which includes control of equipment, equipment and tools, technological parameters of working fluids, control of the technological process and the results of the work of performers in terms of engineering preparation of production is in second place. The control indicator of the final operations of assembly, running-in and testing of units, unit and machine received the greatest weight (31%). Due to the low quality of the spare parts supplied, the incoming control of spare parts and materials is in second place. In terms of job organization, the most important level of organizational and technical planning from the standpoint of scientific organization of labor. An important factor is the provision of the workplace with regulatory and technological documentation and means of mechanization of manual labor. The considered factors allowed to formulate the basic directions of improvement of quality of repair.

Key words: quality of repair of machines, level of training, expert assessment, weight coefficient, diagram, engineering preparation of production.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-9

УДК 637.134

О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл.,¹

ORCID: 0000-0002-4974-5201

К. О. Самойчук, д.т.н, проф.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Н. О. Фучаджи, к.т.н., ст. викл.

ORCID: 0000-0001-9433-6282

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: (096)3205531

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ МОЛОЧНИХ АВТОМАТІВ І ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ОСНАЩЕННЯ ГОМОГЕНІЗАТОРАМИ

Анотація. В статті запропоновано оснащення автомату для розливу молока гомогенізатором. З метою оцінки перспектив розвитку молочних автоматів проведено аналіз переваг та недоліків їх використання для продавців. Проведено оцінку переваг та недоліків від впровадження молокоматів з точки зору покупців. З метою підвищення надійності міжремонтної роботи молокоматів та забезпечення населення продуктом високої якості наведено аналіз найбільш поширених та перспективних конструкцій гомогенізаторів. Зроблено висновок, що за умов мінімізації енергетичних витрат при забезпеченні найменшого середнього діаметра жирових кульок рекомендовано для оснащення молочного автомату гомогенізатор пульсаційного типу. Проведена оцінка економічної ефективності оснащення автоматів для розливу молока свідчить про несуттєве збільшення (1,4 місяці) терміну окупності при використанні пульсаційного гомогенізатора, що свідчить про високу економічну ефективність запропонованого заходу.

Ключові слова: економічна ефективність, апарат, реалізація молока, прибуток, вендинговий, термін окупності.

Постановка проблеми. Забезпечення збуту молочної продукції як товарів із малим терміном придатності ґрунтується на проведенні їх механічної та теплової обробки, що збільшує резерв часу для реалізації [1]. Іншим шляхом швидкої реалізації значних об'ємів молока може бути використання вендингових конструкцій молокоматів (молочних автоматів). З технічної точки зору робота молокомату без проведення мінімальної механічної обробки продукту (гомогенізації) може



призводити до скорочення терміну придатності обладнання, збільшення збитків від нереалізованої продукції, простою обладнання, витрат на ремонт вендингових апаратів. Це пояснюється тим, що наявні в молоці жирові кульки вершків в природньому стані мають досить великий розмір (в середньому близько 3–4 мкм) та є схильними до утворення агломерацій [2]. Таким чином при використанні молокоматів не обладнаних гомогенізаторами існує висока вірогідність швидкої облітерації внутрішніх поверхонь трубопроводів для подачі продукту [3].

Аналіз останніх досліджень. Ідея реалізації з використанням автоматів для продажу молока знайшла більш менш поширену реалізацію на території розвинених країн на початку 21 ст. Загальна кількість молокоматів, які використовуються на даний час не перевищує 15000 одиниць. Особливості роботи молокоматів викликають жваві дискусії в середовищі спеціалістів та острахи з боку скептичних покупців. Головною перевагою вендингових конструкцій є реалізація продукту без проведення механічної та теплової обробки, тобто забезпечення можливості покупця споживати натуральне молоко від фермерів [2]. Між тим, відомо, що частина потенційних покупців має низький рівень довіри до продуктів, що виготовляються на спеціалізованих підприємствах, вважаючи, що переробні підприємства задля збільшення прибутку здатні вдаватись до шахрайства та виготовлення фальсифікатів. Доставка, завантаження та реалізація необробленого молока дозволяє усунути ці побоювання. Зворотнім боком є острахи покупців відносно можливості споживання молока, що не пройшло термічну обробку. Так, наприклад продаж молока з використанням вендингових апаратів було заборонено в США, а в ряді країн Європи лише за 2012р було закрито 3 торгівельних мережі. Перспективи подальшого розвитку цього напрямку реалізації продукції с/г виробництва, який має як переваги, так і недоліки, будуть розглянуті нижче.

Типовий автомат для продажу необробленого молока складається з ємності для зберігання, яка виготовляється з нержавіючої харчової сталі, мішалки, яка попереджує розшаровування продукту на знежирене молоко та вершки, системи охолодження, пристрою, що забезпечує видачу чистої тари, блоку миття робочих поверхонь, що контактують з продуктом, блоку дозування та розливу, пристрою для приймання готівкових та безготівкових платежів [4].

Як зазначалось вище, проведення гомогенізації до надходження продукту в молокомат, яка являє собою процес зменшення середнього діаметра жирових кульок в молоці необхідно для запобігання процесу облітерації внутрішніх каналів трубопроводів вендингових апаратів. Зменшення середнього діаметра жирових кульок при одночасному



зростанні сумарної площі їх поверхні призводить до збільшення надійності молокоматів, забезпечує покращення смакових та товарних якостей продукту після диспергування [5].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Задля зниження енергетичних витрат на переробку молока сучасні підприємці можуть вдаватися до його реалізації через вендингові мережі. Для забезпечення надійної роботи цих апаратів, покращення смакових та товарних якостей продукту можливо оснащення молокоматів гомогенізаторами. Метою статті є оцінка економічної ефективності від включення до комплексу обладнання вендингових апаратів сучасних диспергаторів. Для досягнення поставленої мети, необхідно:

- оцінити переваги та недоліки використання молокоматів для підприємців, що надасть змогу зробити висновок відносно перспектив розвитку цього напрямку підприємницької діяльності;
- оцінити переваги та недоліки використання молокоматів для покупців;
- провести стислий аналіз сучасних гомогенізаторів та обрати найбільш перспективний тип конструкції для оснащення вендингових апаратів;
- оцінити економічну ефективність від оснащення апаратів енергоефективними гомогенізаторами.

Основна частина. Для оцінки перспектив подальшого розвитку вендингової реалізації молока необхідно проаналізувати переваги та недоліки для підприємців та покупців. Серед позитивних рис використання цього способу продажу молока для власників молокоматів та фермерів, слід відзначити [1, 5, 6]:

- мінімальну площу під встановлення обладнання, що впливає на розмір орендної платні і відповідно збільшує прибуток підприємця;
- відсутність торгових посередників між виробником та споживачем, що зменшує собівартість продукту та збільшує прибуток власнику апарату;
- можливість встановлення в будь-якому вигідному з точки зору людино-поточку місці з орієнтацією на цільову аудиторію (спортивні комплекси, торгівельні центри, фітнес центри, лікарні, супермаркети, прилеглі до великих магазинів площі), що пояснюється відсутністю необхідності підключення до каналізації або водопровідної мережі;
- відсутність механічної та теплової обробки продукту, проведення яких збільшує собівартість одиниці продукції на 60–70%;
- екологічність реалізації необробленого молока при одночасному забезпеченні санітарно-гігієнічних вимог до продукту, обробку поверхонь, які контактують з продуктом, простота конструкції,



зручність проведення технічного обслуговування та ремонту обладнання;

• відсутність продавця, що забезпечує підприємцю збільшення прибутку від економії на заробітній платні та соціальних виплатах робітнику.

Поряд з цим слід відзначити деякі недоліки, притаманні конструкціям апаратів для реалізації молока, зокрема [1, 6]:

1. відсутність захисту від пошкоджень вандалів, в зв'язку з чим слід відзначити, що останні моделі молокоматів обладнанні відповідними системами;

2. можливе утворення піни при розливі молока, що пояснюється дестабілізацією білкової фази при її взаємодії з повітряним середовищем та також нівелюється в останніх моделях молокоматів завдяки використанню в них спеціальної конструкції дозатора;

3. необхідність ретельного догляду за автоматами;

4. наявність імовірності скисання продукту при коливанні добового та сезонного попиту, що нівелюється можливістю реалізації такого молока для переробки на молокозаводи після проходження контролю якості продукту згідно вимог, встановлених відповідними нормативними актами в галузі;

5. острахи потенційних покупців пов'язані з недостатньою обізнаністю відносно безпечності споживання сирого молока, що в принципі можна подолати шляхом впровадження рекламно-просвітницької діяльності.

Отже, як бачимо для підприємців при впровадженні способу реалізації молока через вендингові апарати існують багато переваг та незначна кількість недоліків, які можна подолати шляхом придбання молокоматів новітніх конструкцій та проведення рекламно-просвітницької кампанії.

До переваг, які отримує покупець у випадку придбання молока за допомогою вендингових апаратів слід віднести [5,7]:

- можливість оперативно в незалежності від часу доби та за відсутності черг придбати свіже молоко;

- забезпечення при знаходженні молока в апараті смакових якостей, поживних речовин, вітамінів і аромату свіжого продукту;

- використання охолодження всередині автомату, що попереджує передчасне псування продукту протягом 3 діб, забезпечує його високі органолептичні показники;

- можливість придбання свіжого молока від фермерських господарств жирністю 3,7–4%, яке можна використовувати як для приготування смачних страв, так і для виготовлення в домашніх умовах з натурального молока високої жирності таких продуктів як кефір, сир,



йогурт;

- значно нижчу (до 40-50%) ціну розливного молока, в порівнянні з вартістю пакетованого продукту, що досягається за рахунок відсутності витрат на механічну та теплову переробку, усуненням ланцюгу посередників між с/г виробником та споживачем, відсутності витрат на зарплату реалізатору та упаковку готового продукту;

- забезпечення при реалізації молока через молокомати продажу з дотриманням всіх санітарно-гігієнічних вимог.

До недоліків реалізації молока з використанням вендингових апаратів слід віднести незвичний спосіб здійснення покупки, що може стати проблемою для людей похилого віку. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом встановлення на молокоматах пояснювальних інструкцій, які повинні містити зрозуміле пояснення послідовності дій покупця для вибору об'єму пляшки, внесення платні, отримання продукту.

Слід відзначити, що використання молокоматів дозволяє виключити такі етапи переробки молока як очищення, фільтрацію, сепарацію, пастеризацію/стерилізацію, упаковку [7]. Між тим оцінка умов роботи молокоматів дозволяє стверджувати, що з точки зору збільшення терміну експлуатації між проведенням обслуговувань та ремонтів доцільно комплектувати вендингові апарати гомогенізаторами. Проведення диспергування до надходження продукту до молокомату завдяки відсутності процесу розшарування буде попереджувати облітерацію внутрішніх поверхонь каналів трубопроводів. Раціональний тип гомогенізатору для оснащення молокомату повинен мати низькі питомі енергетичні витрати та забезпечувати мінімальний середній діаметр жирових кульок після диспергування [4, 6]. Для вибору конструкції, яка задовольняє вказаним вище вимогам, проаналізуємо дані, наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Порівняльна характеристика різних типів гомогенізаторів

Тип гомогенізатора	Продуктивність, Q, т/год	Мінімальний діаметр часток після гомогенізації, d_{cp} , мкм	Питомі енерговитрати, $E_{пит}$, кВт*год/т
Клапанний	1	0,75	7,5
Вакуумний	1	1,50	1,8
Вихровий	1	0,77	0,8
Протитечійно-струминний	1	0,75	1,4
Пульсаційний	1	0,80	0,7



Аналіз даних, наведених в таблиці 1 свідчить, що з точки зору мінімізації питомих енерговитрат при забезпеченні якості продукту, що відповідала технологічно обґрунтованим вимогам (0,75–0,80 мкм) найбільш доцільною є комплектація молокоматів гомогенізаторами вихрового або пульсаційного типів. Звісно дослідження сучасних вчених пропонують виробникам до впровадження і інші енергоефективні конструкції гомогенізаторів, зокрема струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків або струминно–щільний гомогенізатор молока [2, 8]. Але їх використання передбачає роздільну гомогенізацію, що передбачає попереднє проведення сепарації, що в даному випадку призведе до збільшення собівартості готового продукту для споживача, отже є економічно неефективним рішенням [9].

З метою прийняття рішення відносно рекомендованого типу гомогенізатора для оснащення молокомату розглянемо недоліки кожної з наведених в таблиці 1, найбільш поширених в промисловості та перспективних конструкцій диспергаторів. До негативних рис гомогенізатора клапанного типу відносяться високі енерговитрати та матеріалоємність, недоліком конструкції протитечійно-струминного гомогенізатора є спінювання молока, вакуумний диспергатор відрізняється втратою поживних речовин, що спостерігається при зміні робочого тиску, а конструкція вихрового типу є недостатньо дослідженою [5, 10]. Отже, раціональним слід вважати комплектацію молокоматів гомогенізаторами пульсаційного типу, який містить циліндр з патрубками підведення і відведення емульсії й встановлені в ньому поршні, в яких виконані наскрізні отвори і які здійснюють зворотно-поступальні рухи за допомогою імпульсних рухів штоку.

Згідно до оцінок фахівців [1,7] термін окупності молокомату складає незначну величину за умови реалізації від 100 до 400 л молока на добу. Сучасні конструкції вендингових апаратів обладнуються двома змінними ємностями об'ємом 200 та 230 л відповідно. При встановленні автомату в місці с достатнім людино-потокком в межах цільової аудиторії покупців забезпечити реалізацію 200 л на добу не повинно являти труднощів. За умови закупівлі молока в фермера за ціною 7 грн/л та продажу за ціною 15 грн/л витрати та доход підприємця будуть складати 42000 грн/міс та 90000 відповідно. Відрахування на транспортні витрати, оренду приміщення, проведення обслуговування обладнання приймали рівними 15%, відтак прибуток після реалізації продукту в молокоматі за вирахуванням витрат складатиме 34500 грн/міс. Для порівняння варіантів використання молокомату без диспергатору та автомату, обладнаного пульсаційним гомогенізатором та оцінки терміну окупності обладнання проаналізуємо дані розрахунків. Для обчислення терміну окупності



було обрано сучасний молокомаат моделі ЕСО Compact 100 вартістю 300000 грн, при цьому ціна на пульсаційний гомогенізатор складає 50000 грн. При прибутку 34500 грн/міс строк окупності обраного молокомаату складає 8,7 міс, а варіанту з використанням пульсаційного гомогенізатору 10,1 міс.

Висновки. Проведений аналіз переваг та недоліків впровадження молокомаатів як способу реалізації свіжого молока дозволяє стверджувати, що за виключенням можливих законодавчих перешкод використання вендингових апаратів має ряд суттєвих переваг як для підприємців, так і для покупців. Виявлені недоліки молочних автоматів можуть бути усунені при використанні сучасних апаратів, розробки інструкції для користування молокомаатом та проведення агітаційно-пояснювальної кампанії. З метою підвищення надійності та забезпечення безперебійної роботи вендингових апаратів у міжремонтний період, а також для підвищення якості молока було запропоновано обладнувати молокомаати гомогенізаторами. Проведений аналіз поширених та перспективних типів диспергаторів по співвідношенню між низькими питомими енерговитратами та найменшими значеннями середнього діаметра жирових кульок дозволив рекомендувати оснащення вендингових апаратів гомогенізаторами пульсаційного типу.

Проведений аналіз економічної ефективності впровадження молокомаату при реалізації на ньому 200 л молока на добу дозволяє отримати чистий прибуток на рівні 34500 грн/міс. Проведене порівняння термінів окупності по варіантах впровадження лише вендингового апарату та молокомаату, обладнаного пульсаційним гомогенізатором свідчить, що строк повернення вкладень по варіанту з використанням диспергатора перевищує дані по варіанту використання тільки молокомаату лише на 1,5 міс. Таким чином оснащення молокомаату забезпечує такі переваги як збільшення міжремонтного ресурсу обладнання, підвищення органолептичних властивостей продукту, термінів його зберігання, зменшення втрат цінного молочного жиру на стінках трубопроводів та витрати на коштовне та складне обслуговування вендингових апаратів.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2022 р.

Список використаних джерел

1. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография–справочник. Спб. ГИОРД, 2006. 392 с.
2. Samoichuk K., Kovalyov A., Oleksiienko V., Palianychka N., Dmytrevskyi D., Chervonyi V., Horielkov D., Zolotukhina I., Slashcheva A. Determination of fat milk dispersion quality in the jet-slot type milk



homogenizer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 5/11 (107). Pp 16–24.

3. Liao, Y. X., Lucas, D. A literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci*, 2009. 64, Pp 3389–3406.

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

5. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса.: Печатный дом, 2007. 263с.

6. Jiang, B., Shi, Y., Lin, G., Kong, D., Du, J. Nanoemulsion prepared by homogenizer : The CFD model research. *Journal of Food Engineering*, 2019, 241, Pp. 105–115.

7. Калинина Л.В., Ганина В.И. Технология цельномолочных продуктов. Сп.б: ГИОРД. 2008. 248 с.

8. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. ТДАТУ. Мелітополь, 2021. -20 с.

9. Huppertz T. Homogenization of Milk, Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd Edition, 2011. Pp. 761–764.

10. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом. 2007. 264 с.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2022 р.

**A. Kovalov, K. Samoichuk, N. Palianychka, N. Fuchadzy
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university**

ASSESSMENT OF PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DAIRY MACHINES AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THEIR EQUIPMENT WITH HOMOGENIZERS

Summary

In the article, it was proposed to equip the milk filling machine with a homogenizer. Based on the method of assessing the prospects for the development of dairy automatic machines, an analysis was made of the benefits and shortcomings of their choice for sellers. An assessment was made of the efficiency and short supply of dairy machines from the point of view of buyers. It is concluded that provided that some minor shortcomings are eliminated, milk machines are a promising and convenient way to sell milk. Entrepreneurs are advised to focus on the purchase of the latest designs of dairy machines, which have a number of advantages, including protection against vandals, eliminate the formation of foam when pouring the product, equipped with two removable



containers with a capacity of 200 and 230 liters. Recommendations are given regarding the need to develop instructions and install them on each of the vending machines to facilitate the use of the device for the elderly. In order to eliminate the fears of consumers about the consumption of raw milk, it is recommended to conduct an advertising and educational campaign. In order to increase the reliability of maintenance of vending machines and provide the population with a high quality product, an analysis of the most common and promising designs of homogenizers. It is concluded that in the condition of minimizing energy costs while providing the smallest average diameter of fat globules, a pulsating type homogenizer is recommended for equipping a milk machine. The obtained data of calculations which show that to receive profit at the level of 34500 UAH/month is possible on condition of daily realization of 200 l of milk at the purchase price of 7 UAH/l, the sale price of 15 UAH/l and deductions for car maintenance, operational and transport costs of 15% income. The assessment of the economic efficiency of equipping machines for bottling milk indicates a slight increase (1.4 months) in the payback period when using a pulsating homogenizer, which indicates the high economic efficiency of the proposed measure.

Key words: economic efficiency, apparatus, milk sales, profit, vending, payback period



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-10

УДК 637.134

К. О. Самойчук, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

М. Р. Лебідь, аспірант

ORCID: 0000-0002-5326-0792

О. П. Ломейко, к.т.н. доц.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: (061)9421306

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОТИТОЧНОЇ ГОЛОВКИ ГОМОГЕНІЗАТОРА

Анотація. В сучасній молочній промисловості досить гостро стоїть питання розробки нових видів гомогенізаторів. Існуючі машини для гомогенізації мають низку недоліків, основними серед яких є великі питомі витрати енергії та невелика ступінь диспергування. Ефективним методом є заміна клапанної головки на протиточно-струминну, в якій вхідний потік емульсії розділяється на два зустрічних кільцевих струменя. Завдяки цьому вдосконаленню можливо зменшити енерговитрати і знизити знос деталей головки гомогенізатора. Для такої нової конструкції клапанної головки проведені моделювання руху рідини, завдяки чому вдалося розробити форму внутрішніх поверхонь головки, яка забезпечує мінімальні втрати енергії потоків рідини. Але залишаються відкритими питання розробки математичної моделі диспергування в протиточно-струминній голівці гомогенізатора, зокрема визначення її продуктивності. Тому мета статті - розробити аналітичні залежності для визначення продуктивності нової високоефективної конструкції протиточно-струминної головки гомогенізатора молока. Розрахована оптимальна відстань між соплами форсунок протиточно-струминної головки гомогенізатора, яка з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня гомогенізації (при постійному значенні надлишкового тиску) залежить від співвідношення відстані між кільцевими каналами та ширини щілини і повинна бути більше одиниці. Розроблені аналітичні залежності для визначення продуктивності нової високоефективної конструкції протиточно-струминної головки гомогенізатора молока. Представлені формули враховують конструктивні й технологічні параметри головки та властивості продукту, що піддається гомогенізації – молока.

Ключові слова. Гомогенізатор, гомогенізація, протиточно-

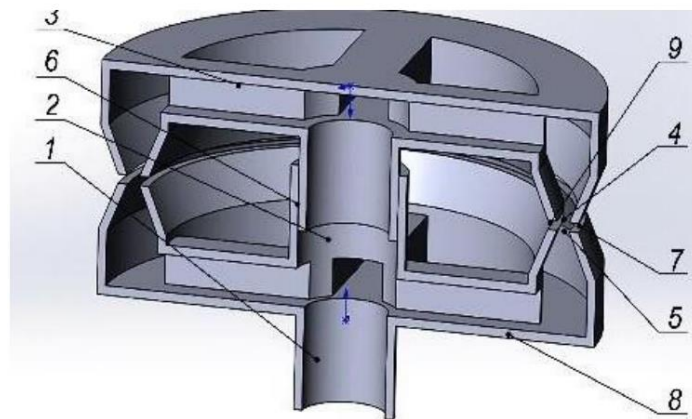


струминна головка, продуктивність, аналітичні дослідження, теорія гомогенізації.

Постановка проблеми. В сучасній молочній промисловості досить гостро стоїть питання розробки нових видів гомогенізаторів. Існуючі машини для гомогенізації мають низку недоліків, основними серед яких є великі питомі витрати енергії та невелика ступінь диспергування [1, 2]. Найбільше поширення у виробництві в наш час мають клапанні гомогенізатори, тому що саме вони мають задовільну ступінь диспергування (середній розмір жирових кульок після обробки дорівнює 0,8 – 1,0 мкм). Хоча клапанні машини мають найбільш високі показники питомої енергоємності процесу гомогенізації, усі інші види гомогенізаторів, такі як вакуумні, пульсаційні, електрогідравлічні, ультразвукові і т.д. мають меншу і недостатню ступінь гомогенізації [3-5]. Таким чином проблема зменшення питомих енерговитрат на диспергування молочної емульсії для найбільш розповсюджених – клапанних гомогенізаторів без істотних змін їх конструкції є актуальним питанням молочної переробної промисловості.

Аналіз останніх досліджень. Для досягнення високого ступеня диспергування молочного жиру на виробництві використовують гомогенізатори клапанного типу [6, 7]. Але такі гомогенізатори мають ряд недоліків які треба усунути, а саме: високі енерговитрати, значні габаритні розміри і масу, швидкий знос робочих поверхонь клапана, високу металоємність і досить високу вартість обладнання [7, 8]. Завдяки аналізу можливих шляхів удосконалення конструкції клапанних гомогенізаторів можна зробити висновок, що ефективним методом є заміна клапанної головки на протиточно-струминну [8]. Завдяки цьому вдосконаленню можливо зменшити енерговитрати і знизити знос деталей головки гомогенізатора.

Представлена конструкція передбачає (рис. 1), що грубодисперсна емульсія під тиском через канал подачі подається в центральний канал, після чого потрапляє в сідло і клапан, розділяючись на протилежно направлені потоки. Під час проходження їх через кільцеві канали клапана і сідла відбувається зіткнення потоків емульсії, завдяки чому утворюється різниця швидкостей між дисперсною частиною та дисперсійною фазою, яка необхідна для руйнування дисперсної частини [9, 10].



1 – канал подачі; 2 – центральний клапан; 3 – клапан; 4 – кільцеві канали клапана; 5 – кільцевий канал сідла; 6 – ущільнюючі кільця; 7 – зовнішня щілина між клапаном і сідлом; 8 – сідло; 9 – внутрішня щілина між клапаном і сідлом

Рисунок 1. 3D-модель протиточно-струминної головки

Для такої нової конструкції клапанної головки проведені моделювання руху рідини, завдяки чому вдалося розробити форму внутрішніх поверхонь головки, яка забезпечує мінімальні втрати енергії потоків рідини. Але залишаються відкритими питання розробки математичної моделі диспергування в протиточно-струминній голівці гомогенізатора, зокрема визначення її продуктивності.

Формування мети статті. Розробити аналітичні залежності для визначення продуктивності нової високоефективної конструкції протиточно-струминної головки гомогенізатора молока.

Основна частина. Відома залежність для визначення об'єму рідини, що витікає з форсунки за одиницю часу [7, 8]. Для протиточно-струминної головки гомогенізатора представимо її розрахункову схему (рис. 1). Для неї можна записати (рис. 2)

$$Q = \mu \pi D_{cp} s \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}, \quad (1)$$

де: μ – коефіцієнт витрат (залежить від конструкції сопел);

D_{cp} – середній діаметр кільцевих каналів клапана, м;

ρ_m – густина молока, кг/м³;

Δp – надлишковий тиск гомогенізації, МПа.

Під час проведення дослідження клапанних і струминних гомогенізаторів було з'ясовано, що для збільшення ступеня диспергування жиру необхідно збільшувати швидкість струменів молока у момент зіткнення.

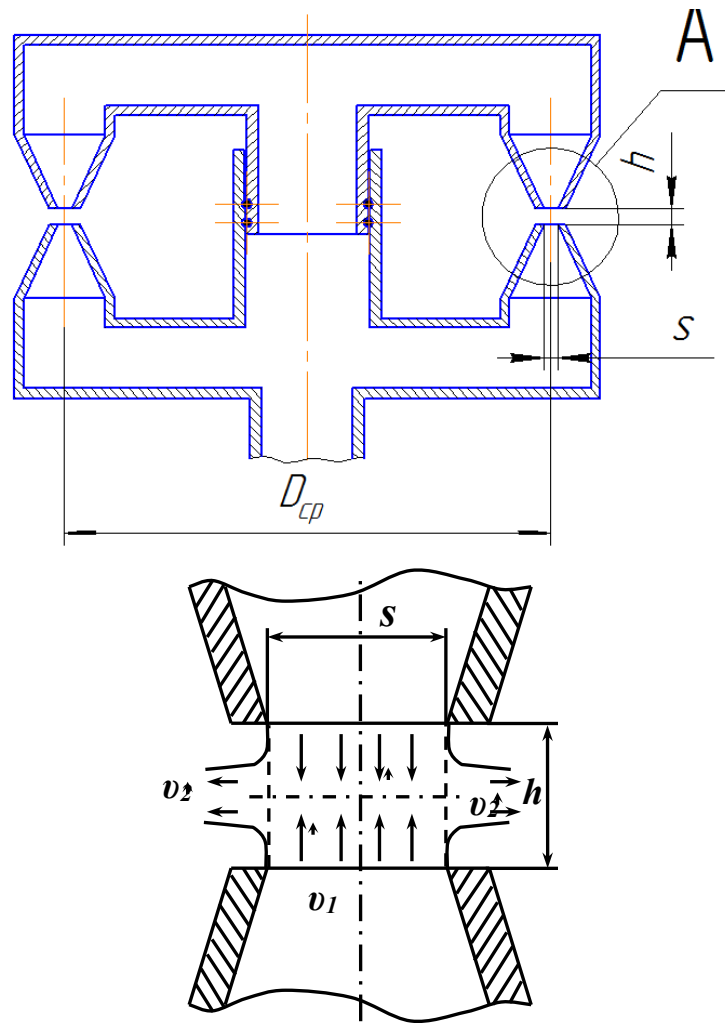


Рисунок 2. Схема протиточно-струминної головки гомогенізатора: а – загальний переріз, б – вид А перерізу.

Очевидно, що при збільшенні відстані між соплом та поверхнею зіткнення струменів, швидкість потоку зменшується, завдяки чому буде зменшуватися і ступінь гомогенізації. Але при зближенні форсунок на деяку величину a_{min} , площа живого перерізу струменів, що відводяться стане менше площі отворів сопел форсунок, внаслідок чого, при незмінному значенні надлишкового тиску, зменшиться продуктивність гомогенізатора (1).

Розрахуємо мінімальну відстань між соплами форсунок a_{min} із умови забезпечення найвищої продуктивності гомогенізатора.

Для отримання найбільшої продуктивності протитечно-струменевого гомогенізатора необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок, S_2 , м², (на рис. 2 відмічена штрихпунктирною лінією) була більше за площу отворів форсунок, тобто:

$$S_2 > 2\pi D_{cp} s. \quad (2)$$

Враховуючи, що $S_2 = 2\pi h D_{cp}$, після перетворень отримаємо

$$h > s. \quad (3)$$

Тобто

$$h_{min} = s. \quad (4)$$

Звідки при $h \geq s$ продуктивність протиточно-струминної головки визначається за формулою (1), а при $h < s$ (рис. 3)

$$Q = \mu \pi h D_{cp} \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}. \quad (5)$$

Одночасно зі зменшенням продуктивності гомогенізатора при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення.

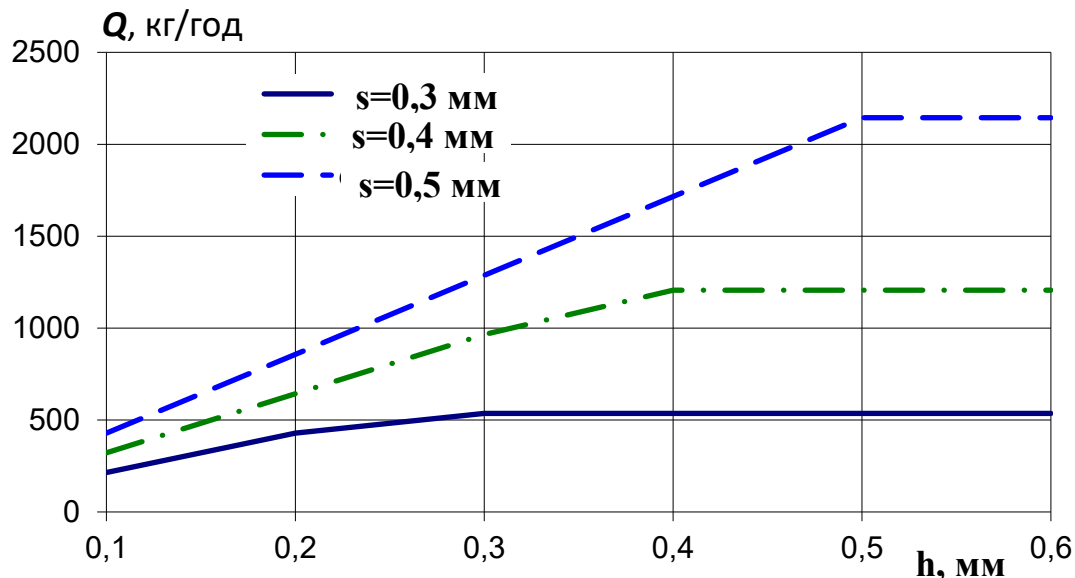


Рисунок 3. Залежність продуктивності від відстані між кільцевими соплами та ширини сопел при $\Delta p = 5$ МПа.

При $h > s$ швидкість струменя перед зіткненням v_1 (приймали рівною швидкості струменя при виході з форсунки) (рис. 4 а). При $h < s$ швидкість потоку молока до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску (рис. 4 б)

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

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку рідини. І при умові $h < s$ отримаємо нерівність (6), з чого витікає зменшення ступеня гомогенізації, адже саме швидкість зіткнення струменів визначає критерій Вебера і ступінь диспергування жирової фази молока.

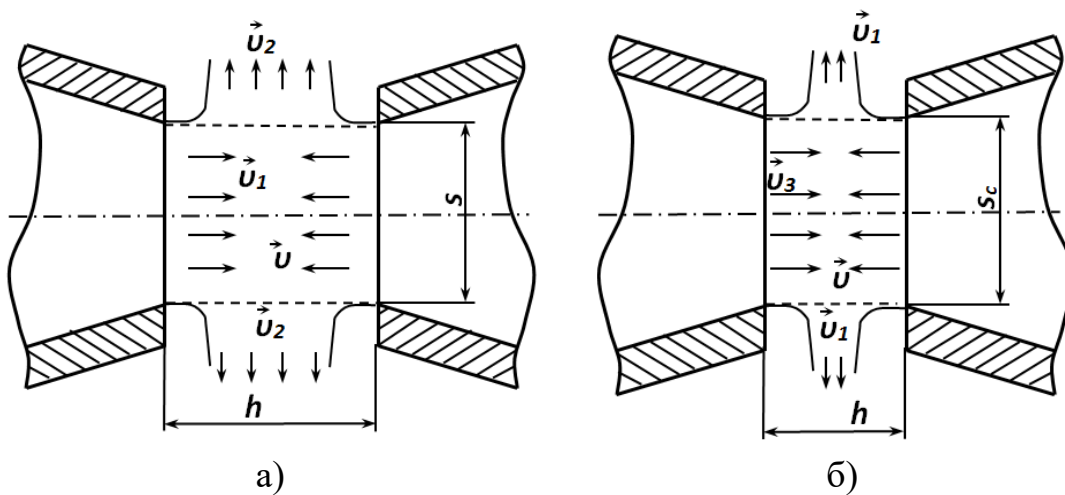


Рисунок 4. Схема зіткнення струменів при а) $h > s$ і при б) $h < s$.

Отже, оптимальна відстань між соплами форсунок протиточно-струминної головки гомогенізатора з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня гомогенізації (при постійному значенні надлишкового тиску) залежить від співвідношення відстані між кільцевими каналами та ширини щілини і повинна бути більше одиниці.

Висновок. Розроблені аналітичні залежності для визначення продуктивності нової вискоефективної конструкції протиточно-струминної головки гомогенізатора молока. Представлені формули враховують конструктивні й технологічні параметри головки та властивості продукту, що піддається гомогенізації – молока. Встановлено, що при зменшенні відстані між кільцевими соплами форсунок менше, ніж ширина кільцевої щілини, знижується якість диспергування (ступінь гомогенізації). Розраховано, що отримати промислові значення продуктивності – 2,5 т/год можливо при значенні ширини щілини та відстані між форсунками у 0,5 мм.

Список використаних джерел

1. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. 2007. Одесса: Печатный дом, 263 с. ISBN 978-966-392-148-8.
2. Tartar L. The General Theory of Homogenization. Lecture Notes. 2009. Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 470 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-05195-1>
3. Fonte C. P., Fletcher D. F., Guichardon P., Aubin J. Simulation of micromixing in a T-mixer under laminar flow conditions. *Chemical Engineering Science*, 2020. 222 p. (115706). DOI: 10.1016/j.ces.2020.115706
4. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up



of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chemical Engineering Science*. 2020. 226 p. (115838). DOI: 10.1016/j.ces.2020.115838

5. Morales J.O., Watts A. B., McConville J. T. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Advances in the Pharmaceutical Sciences Series*. 2016. Springer Verlag. 22. P. 165–213. DOI: 10.1007/978-3-319-42609-9_4

6. Jiang B., Shi Y., Lin G., Kong D., Du J. Nanoemulsion prepared by homogenizer The CFD model research. *Journal of Food Engineering*. 2019. 241, P. 105–115. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.08.014

7. Liao Y. X., Lucas D. A literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci.* 2009. 64 P. 3389–3406. DOI:10.1016/J.CES.2009.04.026

8. Самойчук К. О., Лебідь М. Р., Паляничка Н. О. Підвищення ефективності клапанної головки гомогенізатора за рахунок використання зустрічних струменів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 109–115. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/14014>

9. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Лебідь М. Р. Економічна ефективність упровадження струминного гомогенізатора молока щільного типу. *Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність»*. Харків: ХДУХТ. 2019. С. 249–250. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/7367>

10. Самойчук К. О., Лебідь М. Р. Аналіз конструкції клапанного гомогенізатора. *Новачі в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р.* 2020. ТДАТУ. С. 51–52. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12445>

Стаття надійшла до редакції 22.03.2022 р.

К. Samoichuk, M. Lebid, O. Lomeiko
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

ANALYTICAL VALUE OF THE PRODUCTIVITY OF THE FLOW HEAD OF THE HOMOGENIZER

Summary

In the modern dairy industry the issue of developing new types of homogenizers is quite acute. Existing homogenization machines have a number of disadvantages, the main of which are high specific energy consumption and low degree of dispersion. An effective method is to replace the valve head with a countercurrent jet, in which the incoming flow



of the emulsion is divided into two opposing annular jets. Thanks to this improvement, it is possible to reduce energy consumption and reduce the wear of the parts of the homogenizer head. For such a new design of the valve head, fluid flow simulations were performed, thanks to which it was possible to develop the shape of the inner surfaces of the head, which provides minimal energy loss of fluid flows. However, the issues of developing a mathematical model of dispersion in the countercurrent jet head of the homogenizer, in particular the determination of its productivity, remain open. Therefore, the aim of the article is to develop analytical dependences to determine the performance of a new highly efficient design of countercurrent jet head of a milk homogenizer. The optimal distance between the nozzles of the nozzles of the countercurrent jet head of the homogenizer is calculated. Analytical dependences for determination of productivity of a new highly effective design of a countercurrent jet head of the homogenizer of milk are developed. The presented formulas take into account the design and technological parameters of the head and the properties of the product to be homogenized - milk.

It is established that when the distance between the annular nozzles of the nozzles is less than the width of the annular slit, the quality of dispersion decreases (the degree of homogenization). It is calculated that to obtain industrial values of productivity - 2.5 t/h is possible with a value of the slit width and the distance between the nozzles of 0.5 mm.

Key words: homogenizer, homogenization, countercurrent-jet head, productivity, analytical studies, theory of homogenization.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-11

УДК 631.22.014:636.084.74

В. І. Банга, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8241-1107

Львівський національний університет природокористування

e-mail: vasylibanha@gmail.com, тел.: (067)670-39-80

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ДОЗАТОРА КОМБІКОРМІВ

Анотація. Наведено експериментальні дослідження індивідуального дозатора комбікормів з використанням теорії відсівного експерименту методом випадкового балансу, фактори рівні їх варіювання, які впливають на критерій оптимізації, матрицю плану та результати відсівного експерименту, рівняння для визначення ефектів факторів та фізико-механічні властивості комбікормів.

Для аналізу результатів відсівного експерименту подані діаграми розсіювання, ефектів та значущості факторів які дають уявлення про ступінь впливу кожного з восьми факторів та можливість виділити з них найвпливовіші, а з діаграми рівня значущості факторів за критерієм Стьюдента дає можливість встановити значущі і незначущі фактори.

В результаті проведення відсівного експерименту індивідуального дозатора комбікормів встановлено значущі і незначущі досліджувані фактори (діаметр та частота обертання конусного робочого органу, висота та кількість лопаток, кут твірної конуса при його основі, кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і конусним робочим органом).

Ключові слова: індивідуальний дозатор, експериментальна установка, робочий орган, продуктивність, критерій оптимізації, комбікорм.

Постановка проблеми. На виробничий процес отримання продукції тваринництва впливає ціла система різних факторів, з яких найвагоміших є фактор корму. Годівля є одним з найбільш трудомістких процесів на тваринницькому підприємстві (за трудомісткістю становить від 25 до 35% всіх затрат праці на виробництво молока) [1-7].

Найціннішою частиною кормового раціону тварин є комбікорми. До процесу дозування цих кормів ставлять суворі вимоги, оскільки відхилення від потрібної норми може призвести до перевитрати цінних



кормів або до недостатньої реалізації потенціальної продукції тварин.

Науковими дослідженнями та практикою встановлено, що в разі годівлі корів концентрованими кормами підвищуються надой молока на 10–15 % [8, 9], а повнораціонними комбікормами – на 25–30 % [10, 11]. Кожний центнер спожитого комбікорму порівняно із зернофуражем дає додатково 25–30 кг молока [12, 13]. Тому дослідження робочих органів індивідуального дозатора комбікормів є актуальною і перспективною.

Аналіз останніх досліджень. Вагомий внесок у вирішення проблеми дозування зробили такі відомі вчені, як С. В. Мельников, Г. М. Кукта, В. Г. Коба, Б. В. Кононов, Я. А. Кузьміч, В. С. Симанович, В. Р. Краусп, Л. Я. Степук, Ю. Д. Відінєєв, В. І. Лобанов та ін. [9-11; 14-19]. Аналіз досліджень типів робочих органів для дозування сипких кормів [1-3; 20-22] показав, що в існуючих об'ємних дозаторах процес дозування проходить зі значними витратами потужності, не забезпечується відповідна рівномірність процесу дозування. Відсутні експериментальні дослідження робочих органів індивідуального дозатора комбікормів.

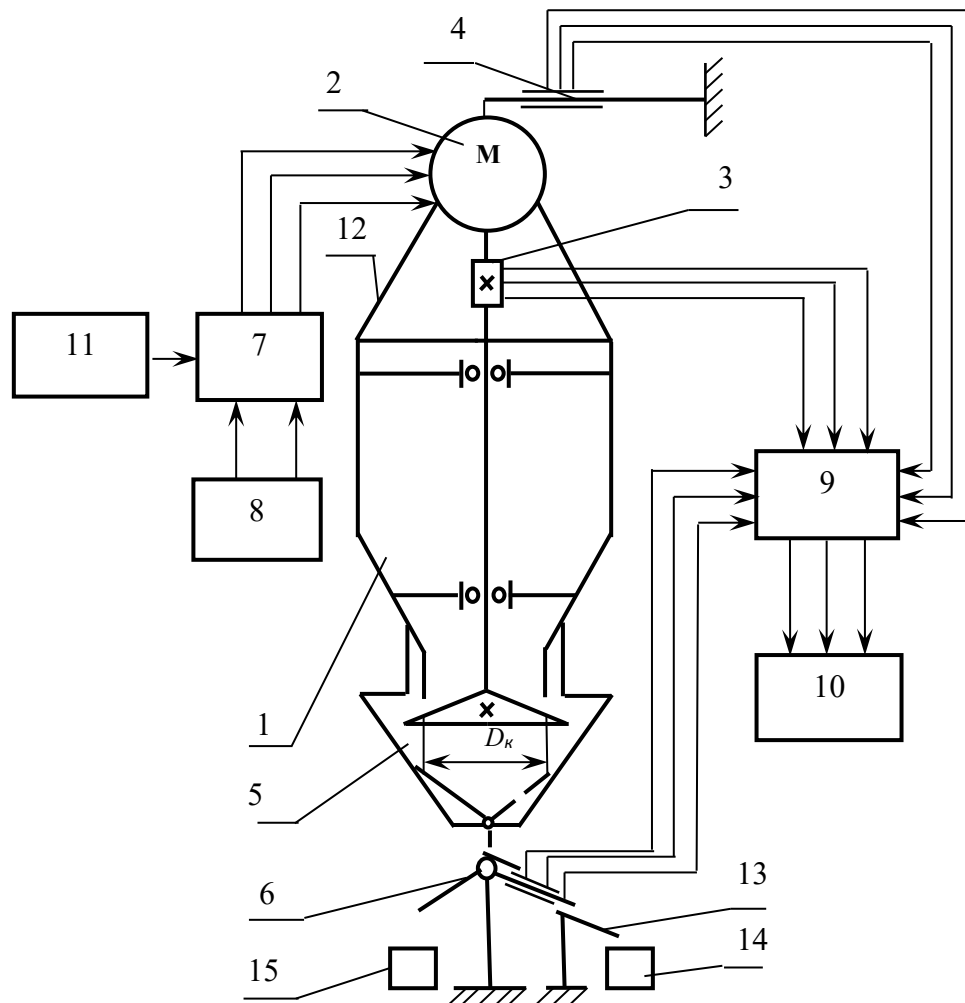
Формулювання мети статті. Завдання досліджень – виділити найбільш найвагоміші фактори, які впливають на критерій оптимізації та відібрати незначущі.

Основна частина. Для дослідження робочих органів індивідуального дозатора комбікормів які захищені патентами України на винахід [9, 10] у лабораторних умовах використали експериментальну установку, що розроблена на кафедрі сільськогосподарської техніки Львівського НУП, до якої входять: вимірювач потоку комбікорму та крутного моменту, які захищені патентами України на винахід [7, 8], маси комбікорму в бункері індивідуального дозатора; пристрій зміни напрямку руху потоку, тензопідсилювач, блок керування кроковим двигуном, ПЕОМ, блок живлення, генератор частоти струму. Блок-схему та загальний вигляд установки подано на рис. 1, 2 [4].

За критерій оптимізації прийнято продуктивність індивідуального дозатора комбікормів. Фактори, що впливають на критерій оптимізації індивідуального дозатора комбікормів наведено в табл. 1.

Експериментальні дослідження факторів, що впливають на критерій оптимізації, проводили з розсипними комбікормами з такими фізико-механічними характеристиками: вологість – 15,5 %, гранулометричний склад – 1,2 мм, насипна густина – 620 кг/м³, кут природного відкосу – 40 град.

Проводили відсівний експеримент відповідно до методикою [14]. Матриця плану та результати розрахунку відсівного експерименту показані у табл. 2.



1 – індивідуальний дозатор; 2 – кроковий електродвигун; 3 – вимірювач крутного моменту; 4 – вимірювач маси комбікорму в бункері дозатора; 5 – пристрій зміни напрямку руху потоку; 6 – вимірювач потоку сипких матеріалів; 7 – блок керування кроковим двигуном; 8 – блок живлення ВІП-009; 9 – тензопідсилювач 8АНЧ–7М; 10 – ПЕОМ; 11 – генератор частоти струму ГЗ–111; 12 – рама; 13 – відвідний лоток; 14, 15 – збірні місткості для необхідних і непотрібних порцій комбікорму.

Рисунок 1. Блок-схема експериментальної установки для дослідження робочих органів індивідуального дозатора комбікормів



Рисунок 2. Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження індивідуального дозатора комбікормів

Таблиця 1

Фактори, що впливають на критерій оптимізації індивідуального дозатора комбікормів

Фактор та його позначення	Рівень факторів	
	-1	+1
x_1 – частота обертання конусного робочого органу, c^{-1}	0,28	1,39
x_2 – діаметр конусного робочого органу, м	0,11	0,155
x_3 – висота лопаток, м	0,005	0,011
x_4 – кут твірної конуса при його основі, град.	0	20
x_5 – маса комбікорму в бункері дозатора, кг	7	12
x_6 – кількість лопаток, шт.	1	4
x_7 – кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і конусним робочим органом, м	0,004	0,008
x_8 – кут природного відкосу комбікорму, град.	33	40

У табл. 2 подані середні результати триразової повторюваності значення критерію оптимізації у .



Таблиця 2

Матриця плану та результати розрахунку відсівного експерименту

№ досліду	Фактор								Критерій оптимізації		
									Продуктивність, $Q_k \cdot 10^{-3}$ кг/с		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	y	y'	y''
1	+	+	-	-	+	-	+	-	58,02	-7,348	54,92
2	+	+	+	+	-	+	+	-	67,83	2,462	59,86
3	-	+	+	-	+	+	+	+	58,94	-6,428	54,07
4	-	-	+	+	+	-	-	+	50,85	50,85	45,98
5	+	-	-	+	-	-	-	-	52,48	52,48	49,38
6	+	-	+	-	+	+	-	-	54,55	54,55	46,58
7	-	-	-	-	-	+	-	-	48,58	48,58	48,58
8	-	+	-	+	-	-	+	+	58,44	-6,928	58,44
9	+	-	-	-	-	+	-	+	52,82	52,82	49,72
10	-	+	+	+	-	-	+	-	58,83	-6,538	53,96

Діаграма розсіювання з врахуванням рівня, на якому були фактори в тому чи іншому досліді, показана на рис. 3.

Як бачимо, найбільше виділяються фактори x_2 та x_7 . Для їх кількісної оцінки побудували табл. 3 з двома входами.

Ефекти факторів x_2 і x_7 розраховували за формулою:

$$x_2 = \frac{58,856 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{51,856 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,5 \cdot 10^{-3};$$

$$x_7 = \frac{58,856 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{51,856 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Після розрахунку ефектів виділених факторів перевіряли їх значущість за t – критерієм Стьюдента, розрахунок якого зручніше проводити, звівши всі результати в табл. 4.

Значення t – критерію для факторів x_2 і x_7 визначається за формулою [14]

$$t_{x_2} = \frac{58,612 \cdot 10^{-3} - 51,856 \cdot 10^{-3}}{1,417 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 15,08;$$

$$t_{x_7} = \frac{58,612 \cdot 10^{-3} - 51,856 \cdot 10^{-3}}{1,417 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 15,08.$$

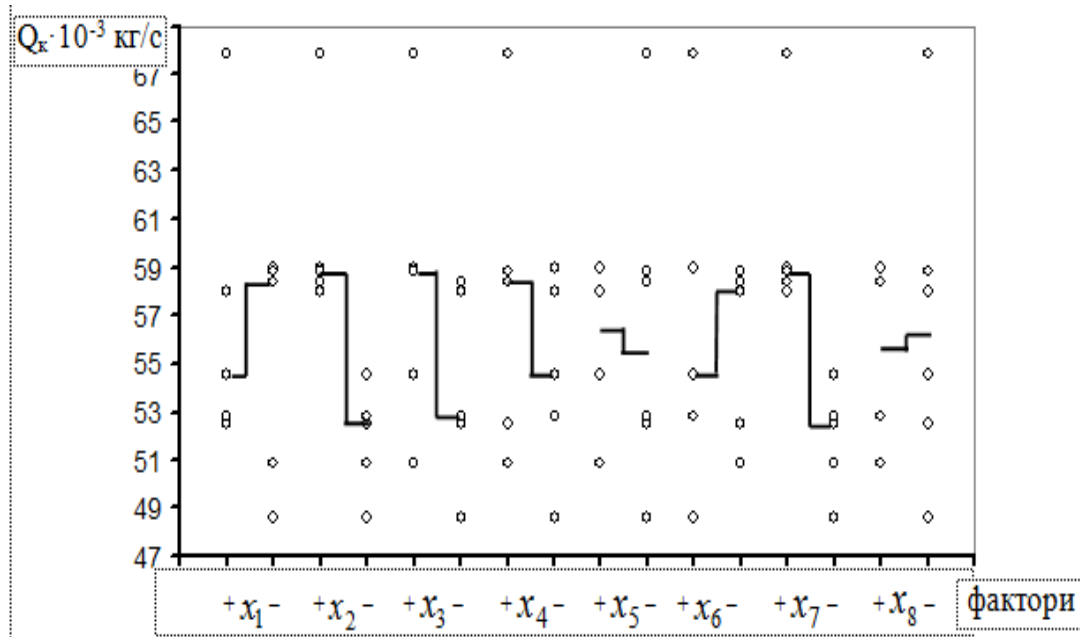


Рисунок 3. Діаграма розсіювання результатів досліджень за рівнями факторів

Табличне значення t – критерію з числом степенів вільності $f_c = 6$ і 5%-м рівнем значущості становить $t_{0,05} = 2,447$. Таким чином, фактори x_2 і x_7 є значущими з ймовірністю 0,95.

Тоді вихідні дані результатів досліджень критерію оптимізації y_1 коректували за факторами x_2 і x_7 і занесли знову в табл. 5. Потім побудували діаграму розсіювання за основними ефектами (рис. 4).

Таблиця 3

Таблиця з двома входами для визначення ефектів факторів x_2 та x_7

Оцінюваний фактор	$+x_2$	$-x_2$
$+x_7$	$56,02 \cdot 10^{-3}$ $58,44 \cdot 10^{-3}$ $58,83 \cdot 10^{-3}$ $58,94 \cdot 10^{-3}$ $60,83 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_1 = 293,06 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_1 = 58,612 \cdot 10^{-3}$	$\bar{y}_2 = 0$
$-x_7$	$\bar{y}_3 = 0$	$48,58 \cdot 10^{-3}$ $50,85 \cdot 10^{-3}$ $52,48 \cdot 10^{-3}$ $52,82 \cdot 10^{-3}$ $54,55 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_4 = 259,28 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_4 = 51,856 \cdot 10^{-3}$



Таблиця 4

Таблиця для розрахунку t -критерію Стьюдента для факторів x_2 та x_7

№ клітки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	$S_R^2 = \frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}$
1	$293,06 \cdot 10^{-3}$	$85884,16 \cdot 10^{-3}$	$17188,65 \cdot 10^{-3}$	5	$2,954 \cdot 10^{-3}$
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	$259,28 \cdot 10^{-3}$	$67226,12 \cdot 10^{-3}$	$13465,54 \cdot 10^{-3}$	5	$5,079 \cdot 10^{-3}$

Проаналізувавши діаграму розсіювання (рис. 4), можна виділити фактори x_1 та x_3 . Для оцінки факторів будували табл. 5. з двома входами.

Ефекти факторів x_1 і x_3 вираховували за формулою [14]

$$x_1 = \frac{61,19 \cdot 10^{-3} + 54,44 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{56,21 \cdot 10^{-3} + 53,21 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,1 \cdot 10^{-3};$$

$$x_3 = \frac{61,19 \cdot 10^{-3} + 56,21 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{54,44 \cdot 10^{-3} + 53,51 \cdot 10^{-3}}{2} = 4,72 \cdot 10^{-3}$$

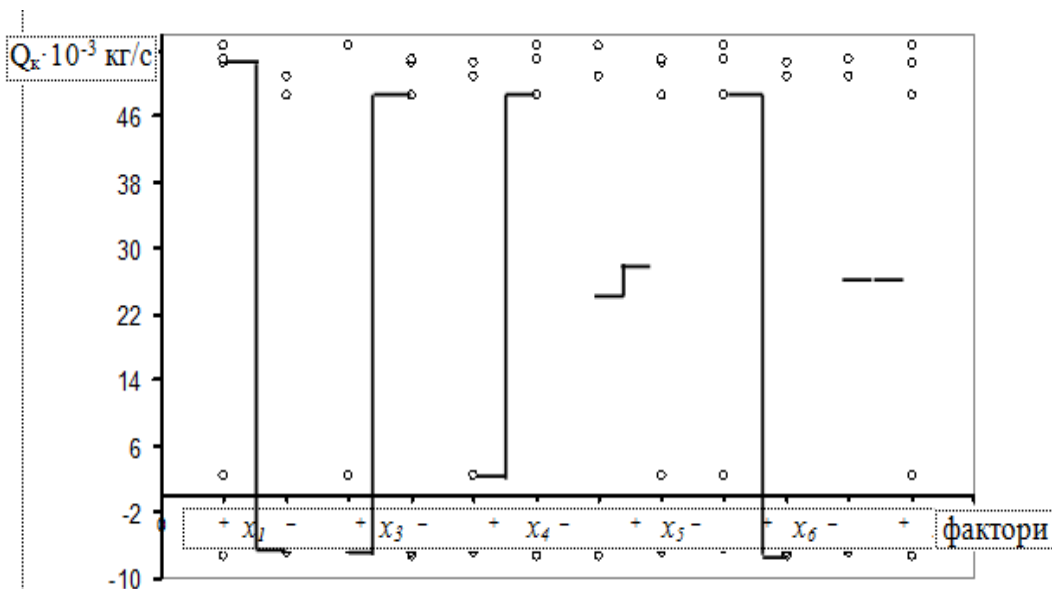


Рисунок 4. Діаграма розсіювання результатів досліджень за рівнями факторів після першого коректування



Таблиця 5

Таблиця з двома входами для визначення ефектів факторів x_1 та x_3

Оцінюваний фактор	$+x_1$	$-x_1$
$+x_3$	$54,55 \cdot 10^{-3}$ $67,83 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_1 = 122,38 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_1 = 61,19 \cdot 10^{-3}$	$58,94 \cdot 10^{-3}$ $50,85 \cdot 10^{-3}$ $58,83 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_2 = 168,62 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_2 = 56,21 \cdot 10^{-3}$
$-x_3$	$58,02 \cdot 10^{-3}$ $52,48 \cdot 10^{-3}$ $52,82 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_3 = 163,32 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_3 = 54,44 \cdot 10^{-3}$	$48,58 \cdot 10^{-3}$ $58,44 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_4 = 107,02 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_4 = 53,51 \cdot 10^{-3}$

Значущість виділених факторів перевіряли за t – критерієм Стьюдента. Результати заносили в табл. 6.

Таблиця 6

Таблиця для розрахунку t – критерію Стьюдента для факторів x_1 і x_3

№ клітки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	$S_R^2 = \frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}$
1	$122,38 \cdot 10^{-3}$	$14976,86 \cdot 10^{-3}$	$7576,61 \cdot 10^{-3}$	2	$88,18 \cdot 10^{-3}$
2	$168,62 \cdot 10^{-3}$	$28432,7 \cdot 10^{-3}$	$9520,61 \cdot 10^{-3}$	3	$21,52 \cdot 10^{-3}$
3	$163,22 \cdot 10^{-3}$	$26673,42 \cdot 10^{-3}$	$8910,42 \cdot 10^{-3}$	3	$3,81 \cdot 10^{-3}$
4	$107,02 \cdot 10^{-3}$	$11453,28 \cdot 10^{-3}$	$67226,12 \cdot 10^{-3}$	2	$48,61 \cdot 10^{-3}$

Розраховували значення t – критерію Стьюдента для факторів x_1 і x_3 за формулою

$$t_{x_1} = \frac{115,63 \cdot 10^{-3} - 109,42 \cdot 10^{-3}}{6,37 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 3,08 ;$$

$$t_{x_3} = \frac{117,4 \cdot 10^{-3} - 107,65 \cdot 10^{-3}}{6,37 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 4,84 .$$

У випадку з числом степенів вільності $f_c = 6$ та 5%-го рівня значущості, табличний критерій Стюдента становить $t_{0,05} = 2,447$. Отже, фактори x_1 і x_3 є значущими з ймовірністю 0,95. Тоді вихідні дані коректували за факторами x_1 і x_3 . Результати досліджень критерію оптимізації y_2 занесли в табл. 2, далі будували діаграму розсіювання результатів досліджень за основними ефектами (рис. 5).

Як бачимо, найбільше виділяються фактори x_4 та x_6 . Результати їх досліджень наведені в табл. 7.

Ефекти виділених факторів x_4 та x_6 розраховували за формулою [14]

$$x_4 = \frac{67,83 \cdot 10^{-3} + 55,15 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{53,72 \cdot 10^{-3} + 58,02 \cdot 10^{-3}}{2} = 5,62 \cdot 10^{-3};$$
$$x_6 = \frac{67,83 \cdot 10^{-3} + 53,72 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{55,15 \cdot 10^{-3} + 58,02 \cdot 10^{-3}}{2} = 4,19 \cdot 10^{-3}.$$

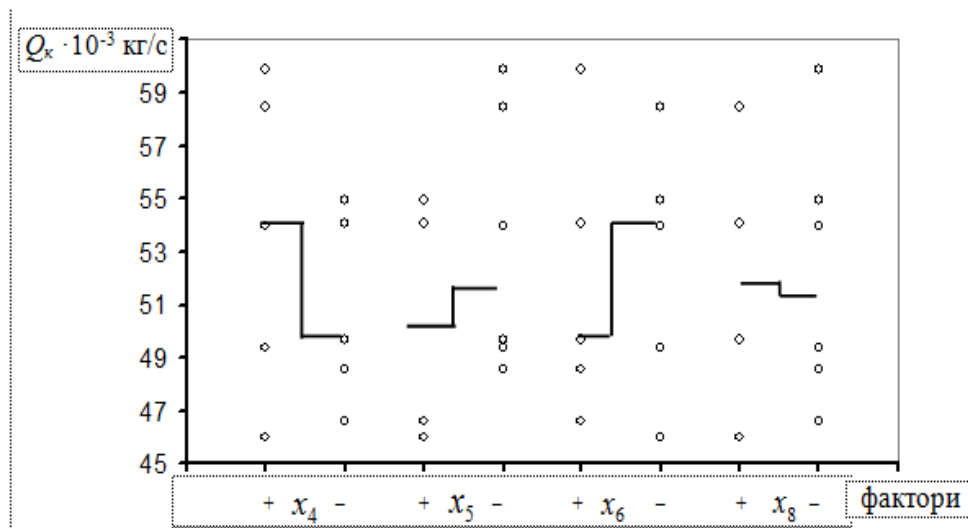


Рисунок 5. Діаграма розсіювання результатів досліджень за рівнями факторів після другого коректування

Після розрахунку ефектів виділених факторів, перевіряли їх значимість за t – критерієм Стюдента. Розрахунок t – критерію зручніше проводити звівши всі результати в табл. 7

Розраховуємо значення t – критерію Стюдента для факторів x_4 та x_6 за формулою [14]

$$t_{x_4} = \frac{122,98 \cdot 10^{-3} - 111,74 \cdot 10^{-3}}{2,95 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 12,05;$$



$$t_{x_6} = \frac{121,55 \cdot 10^{-3} - 113,17 \cdot 10^{-3}}{2,95 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = 8,98.$$

Таблиця 7

Таблиця для розрахунку t -критерію Стьюдента для факторів x_4 та x_6

№ клітки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	$S_R^2 = \frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}$
1	$67,83 \cdot 10^{-3}$	$4600,91 \cdot 10^{-3}$	$4600,91 \cdot 10^{-3}$	1	0
2	$214,89 \cdot 10^{-3}$	$46177,71 \cdot 10^{-3}$	$11599,59 \cdot 10^{-3}$	4	$18,3 \cdot 10^{-3}$
3	$220,6 \cdot 10^{-3}$	$48664,36 \cdot 10^{-3}$	$12216,07 \cdot 10^{-3}$	4	$16,66 \cdot 10^{-3}$
4	$58,02 \cdot 10^{-3}$	$3366,32 \cdot 10^{-3}$	$3366,32 \cdot 10^{-3}$	1	0

За степеня вільності $f_c = 6$ та 5%-го рівня значущості, табличний критерій Стьюдента становить $t_{0,05} = 2,447$. Отже, фактори x_4 і x_6 є значущими з ймовірністю 0,95.

Для оцінки кількісного впливу факторів x_5 і x_8 побудували таблицю 8.

Таблиця 8

Таблиця з двома входами для визначення ефектів факторів x_5 та x_8

Оцінюваний фактор	+ x_5	- x_5
+ x_8	$58,94 \cdot 10^{-3}$ $50,85 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_1 = 109,79 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_1 = 54,89 \cdot 10^{-3}$	$58,44 \cdot 10^{-3}$ $52,82 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_2 = 111,26 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_2 = 55,63 \cdot 10^{-3}$
- x_8	$58,02 \cdot 10^{-3}$ $54,55 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_3 = 112,57 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_3 = 56,28 \cdot 10^{-3}$	$67,83 \cdot 10^{-3}$ $52,48 \cdot 10^{-3}$ $58,83 \cdot 10^{-3}$ $48,58 \cdot 10^{-3}$ $\sum y_4 = 227,72 \cdot 10^{-3}$ $\bar{y}_4 = 56,93 \cdot 10^{-3}$

Ефекти виділених факторів x_5 та x_8 розраховуємо за формулою [14]



$$x_5 = \frac{54,89 \cdot 10^{-3} + 56,28 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{55,63 \cdot 10^{-3} + 56,93 \cdot 10^{-3}}{2} = -0,695;$$

$$x_8 = \frac{54,89 \cdot 10^{-3} + 55,63 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{56,28 \cdot 10^{-3} + 56,93 \cdot 10^{-3}}{2} = -1,345.$$

Розрахунок значущості виділених факторів за t –критерієм Стьюдента відображено в табл. 9.

Таблиця 9

Таблиця для розрахунку t – критерію Стьюдента для факторів x_5 та x_8

№ клітки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	$S_R^2 = \frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}$
1	$109,79 \cdot 10^{-3}$	$12053,84 \cdot 10^{-3}$	$6059,65 \cdot 10^{-3}$	2	$32,73 \cdot 10^{-3}$
2	$111,26 \cdot 10^{-3}$	$12378,79 \cdot 10^{-3}$	$6205,19 \cdot 10^{-3}$	2	$15,79 \cdot 10^{-3}$
3	$112,57 \cdot 10^{-3}$	$12672 \cdot 10^{-3}$	$6342,02 \cdot 10^{-3}$	2	$6,02 \cdot 10^{-3}$
4	$227,72 \cdot 10^{-3}$	$51856,4 \cdot 10^{-3}$	$13176,04 \cdot 10^{-3}$	4	$70,65 \cdot 10^{-3}$

Розраховуємо значення t – критерію Стьюдента для факторів x_5 та x_8 за формулою [14]

$$t_{x_5} = \frac{111,17 \cdot 10^{-3} - 112,56 \cdot 10^{-3}}{5,59 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = -0,786 ;$$

$$t_{x_8} = \frac{110,52 \cdot 10^{-3} - 113,21 \cdot 10^{-3}}{5,59 \cdot \sqrt{\frac{1}{10}}} = -1,521 .$$

У випадку, коли степінь вільності $f_c = 6$, рівень значущості сягає 5% табличний критерій Стьюдента рівний $t_{0,05} = 2,447$. Отже, фактори x_5 і x_8 є незначущими.

На рис. 6 і 7 зображені діаграми ефектів факторів та рівня значущості при визначенні впливу їх на критерій оптимізації.

Дана діаграма (див. рис. 6.) дає уявлення про ступінь впливу кожного з восьми факторів та можливість виділити з них шість найвпливовіших. Як бачимо, фактори x_5 і x_8 , мають найменше значення.

З діаграми рівня значущості факторів (див. рис. 7.) за критерієм Стьюдента бачимо, що фактори $x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_7$ є значущі, а x_5 і

x_8 незначущі.

Таким чином, у плані експерименту беремо до уваги фактори x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_6 , x_7 .

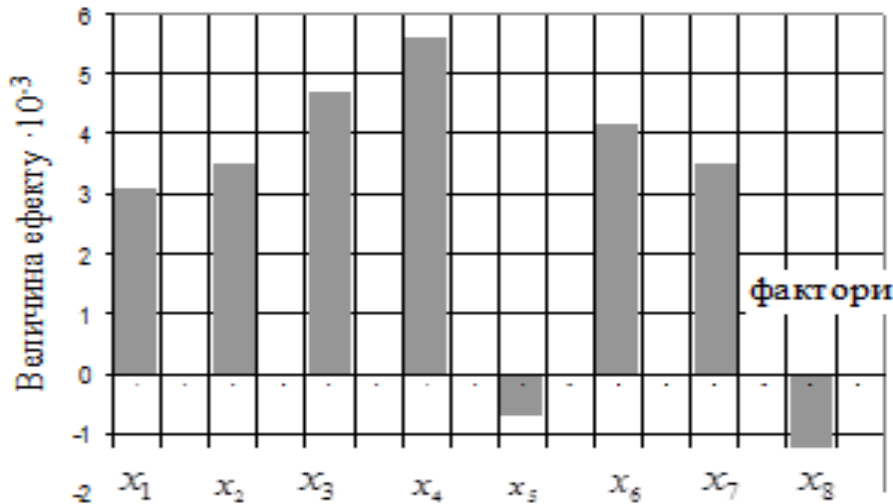


Рисунок 7. Діаграма ефектів факторів, виділених методом випадкового балансу, при визначенні впливу їх на критерій оптимізації

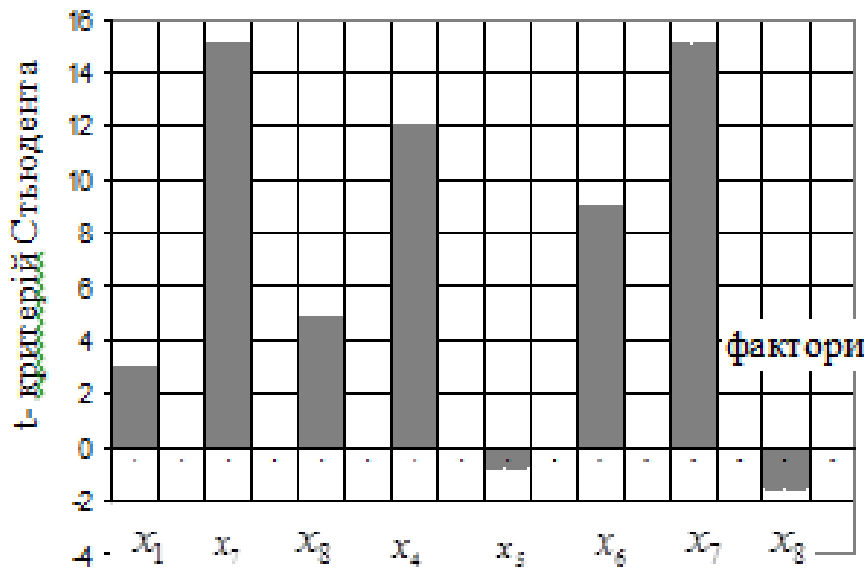


Рисунок 8. Діаграма рівня значущості факторів, виділених методом випадкового балансу, за критерієм Стьюдента.

Висновки. В результаті проведення відсівного експерименту індивідуального дозатора комбікормів встановлено значущі і незначущі досліджувані фактори (діаметр та частота обертання конусного робочого органу, висота та кількість лопаток, кут твірної конуса при його основі, кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і конусним робочим органом).



Список використаних джерел

1. Бойко І. Г., Скорик О. П., Русальов О. М., Щур Т. Г. Аналіз конструкцій дозаторів сипучих кормів безперервної дії і основні напрямки їх удосконалення. *Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2004. Вип. 29. С. 347–350.
2. Бойко І. Г., Щур Т. Г. Обґрунтування напрямків удосконалення конструктивних рішень дозаторів мікроелементів. *Збірник наукових праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого*. Дослідницьке, 2005. Вип. 8. С. 138–142.
3. Банга В. І., Банга Ю. В. Дослідження нерівномірності видачі комбікормів індивідуальним дозатором. *Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження*. 2013. №17. С.176–179.
4. Банга В. І., Дмитрів В. Т., Банга Ю. В. Стенд для експериментальних досліджень робочих органів індивідуального роздавача-дозатора комбікормів. *Науковий вісник НУБІП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип. 212/2. С. 76-81.
5. Банга В. І. Методика експериментальних досліджень індивідуального дозатора комбікормів з конусним робочим органом. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 156. С. 453-458.
6. Банга В.І., Банга Ю. В. Методика експериментальних досліджень дискового дозатора сипких кормів. *Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження*. 2016. №20. С.93-100.
7. Вимірювач маси потоку сипучих матеріалів: пат. 48479А Україна: МКИ G01F1/76. № 2001096131; заявл. 05.09.01; опубл. 15.08.02, Бюл. № 8.
8. Вимірювач крутного моменту: пат. 70691А Україна: МКИ G01L5/00, G01L5/24. № 200312121556; заявл. 23.12.03; опубл. 15.10.04, Бюл. № 10.
9. Кузьміч Я. А., Верніков Д. І., Ахмедов Е. І. Дослідження процесу індивідуальної видачі концентрованих кормів коровам в умовах прив'язного утримання мобільними роздавачами з гвинтовим дозатором. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Київ: Урожай, 1993. С. 56–60.
10. Лобанов В. И. Анализ дозаторов сыпучих кормов. *Механизация производственных процессов в животноводстве*. Новосибирск, 1985. 39 с.
11. Семенцов В. В., Бойко І. Г. Експериментальна установка і методика дослідження процесу дозування концентрованих кормів гравітаційним дозатором. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва*. 2014. № 144. С. 7-11.
12. Demyanenko D., Skliar O. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern*



Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249-258.

13. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference. 2017. P. 155-158*

14. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рощин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 163 с.

15. Skliar R. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. P. 171-176.*

16. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management. 2021. №1(19). P. 7–12.*

17. Семенцов В. В., Бойко І. Г. Результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров гравитационного дозатора. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва. 2015. № 157. С. 67-73.*

18. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific-works of Intern. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine: Research Practice Conf. Nizhin, 2019. P. 84–91.*

19. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. Theory, practice and science: Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255-257.

20. Zhuravel D. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. Multidisciplinary academic research: Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83-86

21. Pirkelmann H. Kraftfutterfütterung an Milchwein mit 22. *Abrufautomaten. 2008. № 31, 11 P. 16–19.* 22. Scholtysik B. Untersuchungen an einem Zellenraddosierer mit digitaler Sollwerteingabe. *Grundl. Landtechn. 2005. № 28, 5 P. 201–204.*

Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.



V. Banha
Lviv National University nature management

**RESULTS OF THE EXPERIMENT OF FACTORS AFFECTING THE
PRODUCTIVITY OF THE INDIVIDUAL FEED DISPENSER**

Summary

The article proposes an experimental installation for the study of conical and conical-blade working bodies of the individual feed dispenser, provides the means for measuring, recording and transmitting information by electrical signals of running values of mass flow in dynamic mode, display and storage of information and control and measuring devices. devices for measuring the power of the dosing process and the unevenness of the feed, the weight of the feed in the hopper of the individual dispenser, changes in the direction of movement of the feed. Experimental studies of individual feed dispenser using the theory of screening experiment by random balance, factors of their variation, which affect the optimization criterion, matrix plan and results of screening experiment, equations to determine the effects of factors and physical and mechanical properties of feed.

To analyze the results of the screening experiment, scatter plots, effects and significance of factors give an idea of the degree of influence of each of the eight factors and the ability to identify the most influential, and from the diagram of the significance of factors by Student's criterion

As a result of the screening experiment of the individual feed dispenser significant and insignificant investigated factors were established (diameter and frequency of rotation of the conical working body, height and number of blades, angle of the cone at its base, annular gap between the hopper outlet and conical working body).

Key words: individual dispenser, experimental setup, working body, productivity, optimization criterion, compound feed.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-12

УДК 663.916.7

С. П. Боковець, асп.

ORCID: 0000-0003-0466-2426

Ф. В. Перцевой, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Сумський національний аграрний університет

e-mail: sergiy_bokovec@ukr.net, тел.: (067)187-80-61

e-mail: percevoyfedor@gmail.com, тел.: (096)405-32-13

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ НАЧИНКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БАТОНЧИКІВ ШОКОЛАДНИХ

Анотація. Стаття присвячена дослідженню впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на динамічну в'язкість модельних розчинів на основі агару при виготовленні начинки для виробництва батончиків шоколадних.

Досліджено динамічну в'язкість модельних систем «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцеринмед-кунжутне борошно» експериментально за допомогою ротаційний віскозиметр. Гліцерин додавали в модельні системи в діапазоні 0,1...0,5% з кроком 0,1%. Введення меду в розчин гелю становило 15...35% з кроком 5%. Додавання кунжутного борошна відбувалося в межах 10 ... 50% з кроком 10%.

Систему агар-вода-гліцерин готували наступним чином. Частину сухого компонента виливали у воду при 20 ± 2 °С, перемішували, потім додавали гліцерин і давали набухати протягом 30-40 × 60 с. Далі цей розчин нагрівали на водяній бані при температурі 85-95 °С до повного розчинення агару. Після повного розчинення агару до розчину додавали мед (модельний розчин агар-вода-гліцерин-мед), кунжутне борошно (модельний розчин агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно) та ретельно перемішували. Науково обґрунтовано вплив гліцерину, меду та кунжутного борошна на динамічну в'язкість розчинів агару при виготовленні начинок для виробництва батончиків шоколадних. Науково обґрунтовано вплив гліцерину, меду та кунжутного борошна на динамічну в'язкість агарових.

Визначено, що в'язкість системи «агар-вода-гліцерин» збільшується в 2,5 рази при додаванні концентрації гліцерину понад 0,3 ± 0,02%, що може бути пов'язано з синергетичною взаємодією гліцерину з агаром, що сприяє утворенню великої кількості міжмолекулярних сполук водню.

Збільшення концентрації гліцерину призводить до збільшення швидкості зшивання структури і занадто швидкого збільшення



міцності, що ускладнює процес змішування. При додаванні меду в кількості $25 \pm 2\%$ утворюється необхідна стійка структура начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку.

Ключові слова: динамічна в'язкість, начинка, агар, гліцерин, мед, кунжутне борошно, модельні системи, батончик шоколадний

Постановка проблеми. Кондитерська промисловість є однією з основних галузей харчової промисловості. За обсягом виробництва займає друге місце у світі, оскільки виробляє близько двох тисяч видів різних солодоців. Вони містять переважно вуглеводи, тому, враховуючи умови життя людей та дітей (неправильне харчування, екологія, стреси), необхідно більш раціоналізувати харчування, використовуючи сировину, багату поживними та біологічно активними речовинами. Серед широкого асортименту цукерок особливе місце займають шоколадні батончики, які досить часто використовуються в якості перекусу. Оскільки споживачі звертають особливу увагу на органолептичні властивості продукції, перед нами постає завдання отримати продукт з відповідними органолептичними та технічними властивостями.

Важливою технічною властивістю для начинки батончика є в'язкість, оскільки вона виступає як структурно-механічний бар'єр при утворенні та руйнуванні гелевої структури, що визначає її стабільність. Вона обумовлена внутрішніми силами зчеплення між молекулами і характеризує опір їх маси під впливом зовнішніх сил. Гелева маса на виробництві проходить процес змішування, перекачування, розливання, що призводить до її руйнування. Ступінь пошкодження залежить від багатьох факторів - кількості сухої речовини, складу та співвідношення рецептурних інгредієнтів, температури тощо [1, 2].

В'язкість, структура, термозворотність і стабільність гідроколоїдних дисперсійних розчинів залежать від їх типу і концентрації, температури і тривалості застигання, рН середовища, а також наявності і концентрації добавок. Для досягнення бажаного рівня в'язкості більшість полісахаридів мають діапазон концентрації від 0,1 до 3%. При використанні дрібнодисперсних порошоків утворення гелю відбувається протягом 20-40 хвилин (для більшості полісахаридів). Слід пам'ятати, що швидкість набухання частинок сильно залежить від інтенсивності перемішування та температури, при якій система піддається впливу [3, 4].

Впровадження наукових принципів зміни властивостей агару та поєднання його з іншими харчовими продуктами, такими як гліцерин, створить клас нових харчових продуктів з якісно зміненими функціональними властивостями [5].



В ході аналітичного огляду було виявлено, що дослідження, пов'язані з визначенням реологічних властивостей, а саме динамічної в'язкості гелеподібних систем в літературі є фрагментарними. Це визначає актуальність обраного напрямку..

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням реологічних властивостей агарових розчинів займалися багато вітчизняних та зарубіжних учених [1-6].

У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням впливу температури на в'язкість агарових розчинів, а також впливу на них інших допоміжних компонентів приділено багато уваги.

Ученими [6] були проведені дослідження реологічних властивостей – в'язкості агарових гелів і впливу на них дисахаридів (сахароза) і моносахаридів (фруктоза). Досліджено, що в'язкість структури агарового гелю 1 % концентрації (η_0) становить $38,113 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Така міцність структури 1 % агарового гелю пояснюється тим, що висока концентрація агару сприяє сильній стабілізації прошарку дисперсного середовища, що знаходиться між молекулами агару та їх агрегатами, і завдяки цьому здійснюється безпосередній контакт частинок дисперсної фази, це сприяє утворенню найбільш міцної та одночасно крихкої структури агарового гелю 1 % концентрації.

У роботі [7] досліджуються фактори, що впливають на в'язкість агарових розчинів, до яких в основному відносять концентрацію та температуру. У ході дослідження встановлено, що концентрація агару, жорсткість води та температура розчину мають значний вплив на в'язкість розчину агару, тоді як рН розчину не має істотного впливу на в'язкість.

Метою авторів статті [8] дослідження реологічних властивостей розчинів агар-агару, приготованих з використанням води, підданої впливу електромагнітного поля з частотою від 30 до 170 МГц. Дослідження проводили при температурі: 25, 35 та 45 °С, концентрація змінювалася від 0,1 до 0,7 %, швидкість зсуву – в межах $100\text{--}1000 \text{ с}^{-1}$. Досліджено, що у переважній більшості випадків зниження в'язкості розчинів спостерігається в результаті впливу температури та електромагнітного поля. Температурна залежність в'язкості для розчинів, які підлягають і не піддаються впливу електромагнітного поля, має різноспрямований характер і істотно залежить, як від концентрації розчину, так і від швидкості зсуву, при якій проводилися вимірювання.

Групою учених [9] було досліджено реологічні характеристики меду та вплив температури на в'язкість. Результати показали, що мед, використаний у цьому дослідженні, показав псевдопластичні властивості текучості. Вплив температури на в'язкість меду показав, що



в'язкість меду зменшується з підвищенням температури.

Авторами статті [10] було визначено залежності величин напруги зсуву від швидкості зсуву та розраховано ефективну динамічну в'язкість систем вода-агар (ВА), вода-желатин (ВЖ) та вода-агар-желатин (ВАЖ) у діапазоні швидкостей зсуву $17-1021 \text{ с}^{-1}$ та інтервалі температур 298-323 К. Отримані залежності ефективної в'язкості для зазначених систем зменшуються з підвищенням температури та швидкості зсуву. При температурах вище 315 К спостерігається слабка залежність в'язкості від швидкості зсуву, що притаманно для ньютонівських рідин.

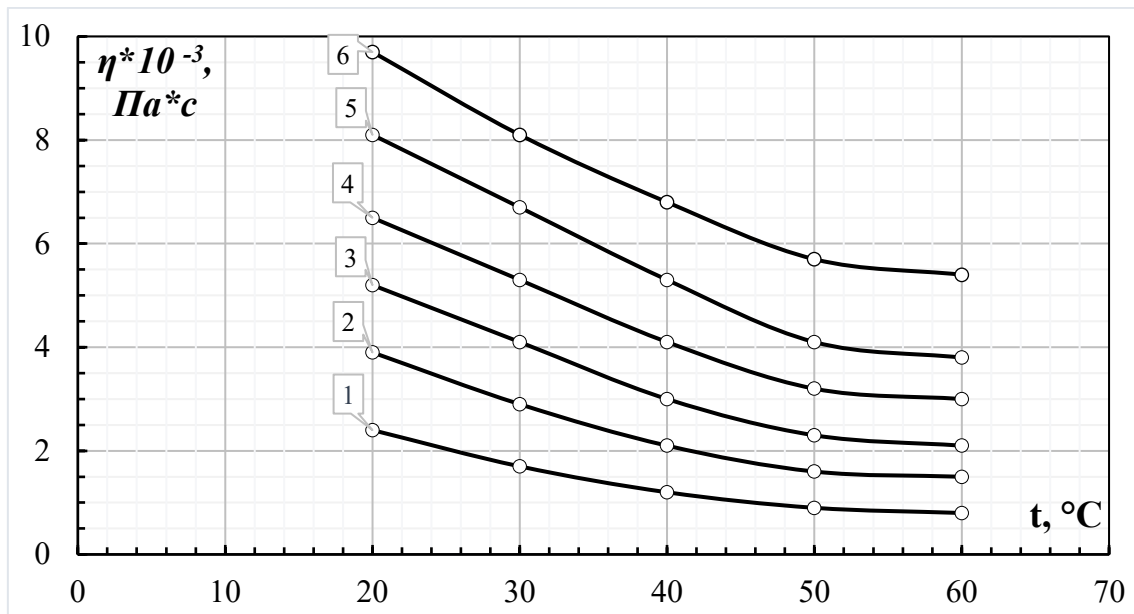
У роботі [11] досліджено реологічні властивості агарових гідрогелів. Агарові гелі готували шляхом змішування водного розчину агар-агару з гліцерином, сорбітом, лимонною кислотою, цитратом натрію та хлоридом натрію в різних концентраціях. Найбільш істотний вплив на в'язкість агарових гелів мали цитрат натрію, лимонна кислота, а також їх суміш. Додавання лимонної кислоти до агар-гелевої композиції зменшувало в'язкість, а додавання цитрату натрію збільшувало її.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних розчинів при виготовленні начинки для виробництва батончиків шоколадних.

Виклад основного матеріалу дослідження. У дослідженнях були використані агар 1200 ТМ "Fujian Province" (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

Систему «агар-вода-гліцерин» готували наступним чином. Наважку сухого компоненту всипали у воду за температури $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, перемішували, після чого вносили гліцерин та залишали для набухання протягом 30-40×60 с. Далі на водяній бані нагрівали даний розчин при температурі 85-95 $^\circ\text{C}$ до повного розчинення агару. Після того як агар повністю розчинився вносили до розчину мед (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед»), кунжутне борошно (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно») та ретельно перемішували. Дослідження впливу гелів визначали на ротаційному віскозиметрі.

Для встановлення раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного (агару, гліцерину, меду, кунжутного борошна) досліджували динамічну в'язкість розчинів (рис. 1-3).



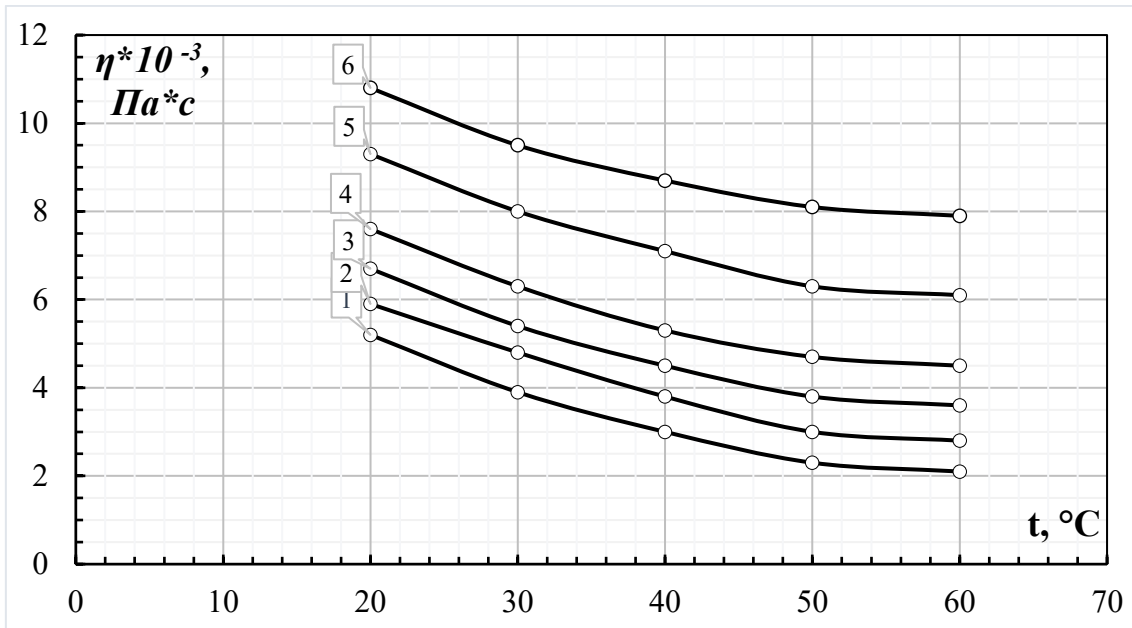
1—контроль; 2—0,1; 3—0,2; 4—0,3; 5—0,4; 6—0,5;

Рисунок 1. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода» за концентрації агару 1 %; в композиції з гліцерином, %

На кривій рисунку 1 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин» від $2,4 \pm 0,2$ Па \times с до $9,7 \pm 0,2$ Па \times с з додаванням гліцерину від 0,1 ... 0,5 % з кроком 0,1 %. В'язкість розчину, що містить 1 % агару без додавання гліцерину, становила $2,4 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 0,1 % гліцерину в'язкість зросла до $3,9 \pm 0,2$ Па \times с. При збільшенні вмісту гліцерину до 0,2 % в'язкість зросла до 5,2 Па \times с. Подальше застосування 0,3, 0,4 і 0,5 % гліцерину призвело до збільшення в'язкості на $6,5 \pm 0,2$; $8,1 \pm 0,2$ і $9,7 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

Визначено, що в'язкість системи «агар-вода-гліцерин» збільшується в 2,5 рази при додаванні концентрацій гліцерину вище $0,3 \pm 0,02$ %, що може бути пов'язано з синергетичною взаємодією гліцерину з агаром, що сприяє утворення великої кількості міжмолекулярних водневих сполук. Збільшення концентрації гліцерину призводить до збільшення швидкості зшивання структури і занадто швидкого збільшення міцності, що ускладнює процес змішування.

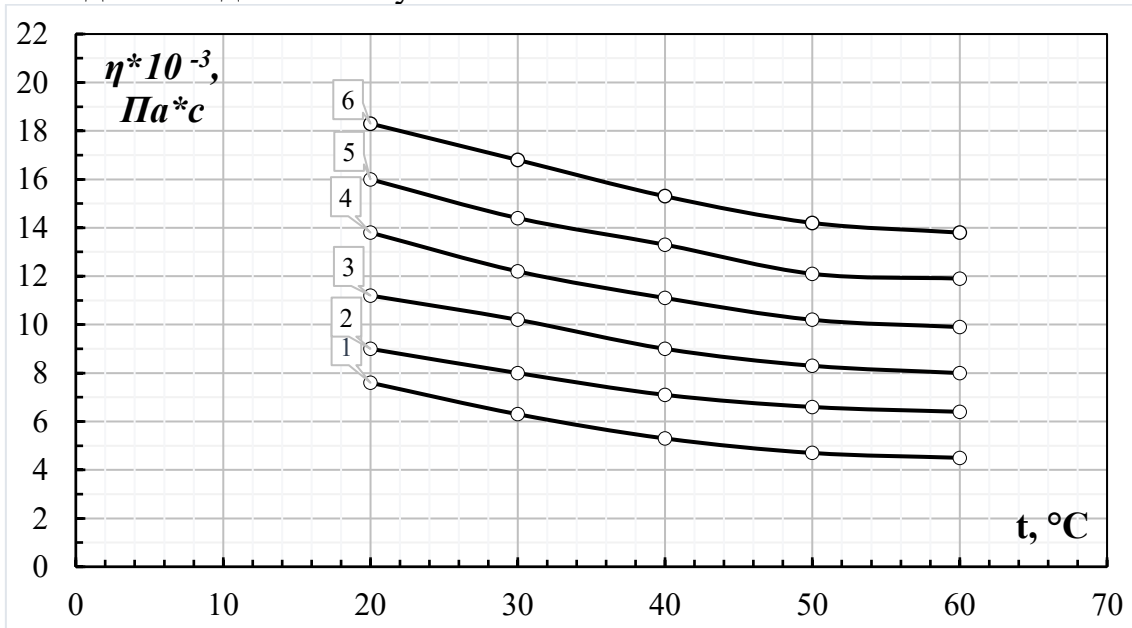
Як видно з рисунку 2 зі збільшенням вмісту меду, в'язкість розчину зросла з $5,2 \pm 0,2$ Па \times с до $10,8 \pm 0,2$ Па \times с. В'язкість розчину, що містить 1,0 % агару, 0,3 % гліцерину без додавання меду, становила $5,2 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 15 %, 20 % і 25 % меду, його в'язкість зросла на $5,9 \pm 2,0$; $6,7 \pm 0,2$ і $7,6 \pm 0,2$ Па \times с. Подальше застосування 30 % і 35 % меду призводить до збільшення в'язкості на $9,3 \pm 0,2$ і $10,8 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.



1 – контроль; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25; 5 – 30; 6 – 35

Рисунок 2. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин» за концентрації агару 1,0 %; гліцерину 0,3 %; при додаванні меду, %.

Встановлено, що додавання меду в кількості менше 20 ± 2 % або більше 30 ± 2 % не утворює бажаної стабілізуючої структури начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного збільшення в'язкості та надто солодкого смаку.



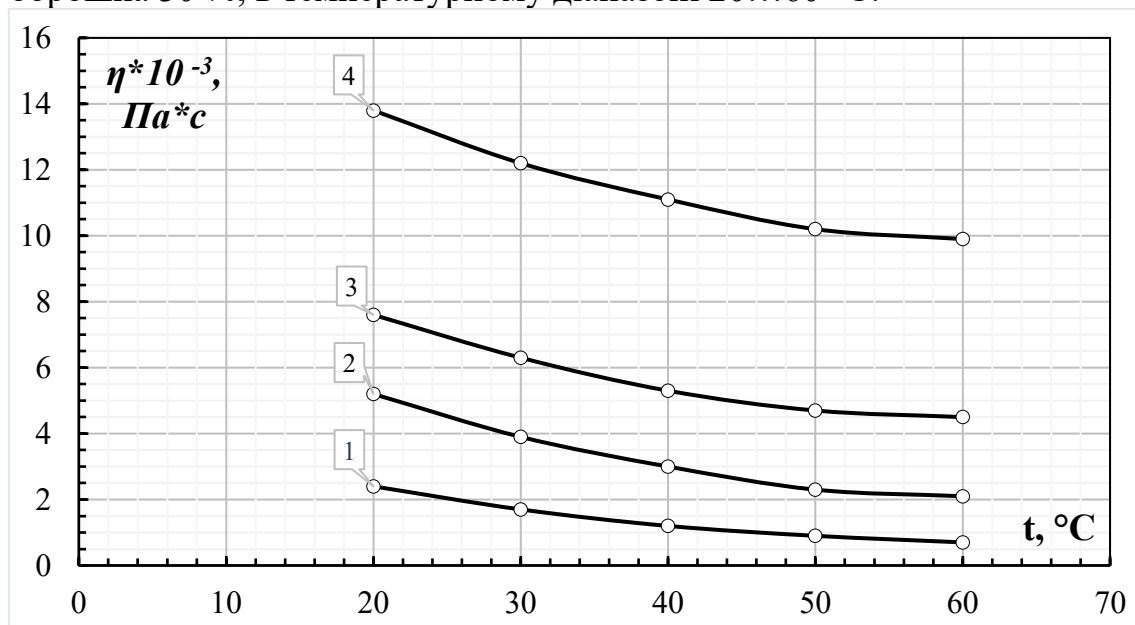
1 – контроль; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50.

Рисунок 3. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин-мед» за концентрації агару 1 %; гліцерину 2 %; меду 25 % при додаванні кунжутного борошна, %.

На кривій рисунку 3 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин-мед» від $7,6 \pm 0,2$ до $18,3 \pm 0,2$ $Па \times c$, при додаванні кунжутного борошна в інтервалі 10...50 % з кроком в 10 %. Встановлено, що в'язкість розчину, який містить 1 % агару, 2 % гліцерину та 25% меду без внесення кунжутного борошна, становить $7,6 \pm 0,2$ $Па \times c$. При додаванні до розчину 10, 20 та 30 % кунжутного борошна, його в'язкість збільшується на $9,0 \pm 0,2$; $11,2 \pm 0,2$ та $13,8 \pm 0,2$ $Па \times c$. Подальше внесення борошна в кількості 40 та 50 % призводить до збільшення в'язкості на $16,0 \pm 0,2$ та $18,3 \pm 0,2$ $Па \times c$ відповідно.

Встановлено, що додавання кунжутного борошна в кількості менш ніж 30 ± 2 % не призводить до утворення бажаної структури начинки. Збільшення вмісту борошна більш ніж на $30 \pm 2\%$ призводить до появи гіркого смаку та значного збільшення в'язкості начинки.

Для підтвердження раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного, які беруть участь у процесах гелеутворення, проводили дослідження динамічної в'язкості (рис. 4) розчинів «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед» та «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» за концентрації агару 1 %, гліцерину 0,3 %, меду 25 %, кунжутного борошна 30 %, в температурному діапазоні 20...60 °C.



1 – «агар-вода», 2 – «агар-вода-гліцерин», 3 – «агар-вода-гліцерин-мед», 4 – «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно»

Рисунок 4. Вплив температури на динамічну в'язкість розчинів:

Встановлено, що підвищення температури в діапазоні 20...60 °C зменшує динамічну в'язкість розчину «агар-вода» на $1,7 \pm 0,2$ $Па \times c$, додавання гліцерину збільшує динамічну в'язкість до $5,2 \pm 0,2$ $Па \times c$ за температури 30 °C. Додавання меду та кунжутного борошна



призводить до збільшення в'язкості на $7,6 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$ та $13,8 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$ відповідно, за температури 30°C .

При введенні агару менше 1 % начинка не набуває бажаних структурних властивостей. При додаванні понад 1,0 % агару, структура начинки стає надто пружною, що ускладнює подальше виробництво батончиків.

Додавання гліцерину у кількості понад 0,3 % призводить до значного збільшення в'язкості начинки, швидкості структурного зшивання та надмірного збільшення міцності, що ускладнює процес змішування розчину для подальшого приготування начинки.

Зменшення вмісту меду та кунжутного борошна менше $25 \pm 2 \%$ та $30 \pm 2 \%$ відповідно, призводить до зменшення кількості сухих речовин. Збільшення кількості вище згаданих компонентів призводить до погіршення смакових властивостей готових виробів.

Висновки. Досліджено вплив концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно».

Встановлено, що додавання 0,3 % гліцерину до розчину на основі агару підвищує його в'язкість, ймовірно, завдяки синергічній взаємодії гліцерину з агаром і сприяє утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

Отже, збільшення в'язкості модельних систем за рахунок впливу гліцерину відбувається завдяки зв'язуванню вільної вологи, що забезпечує підвищену структурну в'язкість начинки.

Також встановлено, що при додаванні меду у кількості $25 \pm 2 \%$ утворюється бажана стійка структура начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку.

Отримані результати мають практичне значення для розрахунку та встановлення діапазону концентрацій рецептурних компонентів у процесі виробництва начинки для батончиків шоколадних на основі агару.

Список використаних джерел

1. Williams P. A., Phillips G. O. Introduction to food hydrocolloids: Handbook of hydrocolloids. Second edition. *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge: Boca Raton, 2009. P. 1–22 <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>

2. Williams P. A., Phillips G. O. Xanthan gum: Handbook of hydrocolloids. Second edition, *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge: Boca Raton, 2009. P. 187–202 <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>

3. Деркач С., Зотова К. Реология пищевых эмульсий. *Вестник*



МГТУ. 2012. №1. С.84–95.

4. Agar gel strength: A correlation study between chemical composition and rheological properties / M. Bertasa et al. *European Polymer Journal*. 2020. Vol. 123. P. 109442. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109442>

5. Камбулова Ю. В., Матяс Д. С., Малиновський В. В. Реологічні показники мармеладних мас на агарі і каррагінані з різновидами цукрів. *Технології харчових продуктів і комбікормів: матеріали міжнародної наук.-практ. конф.* Одеса, 2017. С. 24–26.

6. Дорохович А. Н., Мурзин А. В. Реологические свойства агарового геля и влияние на них дисахаридов (сахароза) и моносахаридов (фруктоза). *Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сборник трудов VIII Международной научно-методической конференции в городе Хаммаммет (Донецк, 28 сентября - 05 октября 2014 г.)*. Донецк, 2014. С. 109–112.

7. Agar gel strength: Analysis of Influencing Factors on Viscosity of Agar Solution for Capsules / Y. Zhenhua et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1653. P. 012059. <https://doi:10.1088/1742-6596/1653/1/012059>

8. Shipunov B., Markin V. Abnormal Rheology of Agar-Agar Solutions Prepared Using Water Exposed to an Electromagnetic Field. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2021. Vol. 47. P. 1404–1410. <https://doi:10.1134/S1068162021070141>

9. Rheological Properties of Honey and its Application on Honey Flow Simulation through Vertical Tube / N. Bambang et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 334. P. 012041. <https://doi:10.1088/1755-1315/334/1/012041>

10. Реологические свойства водных растворов агара, желатина и их смеси для жележных изделий / С. М. Губский та ін. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Хімія*. 2018. № 31. С. 64–78. <https://doi.org/10.26565/2220-637X-2018-31-06>

11. Rheological Study of Agar Hydrogels for Soft Capsule Shells / D. Demchenko et al. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2014. Vol. 47, № 10. P. 45–47. <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1004-z>

Стаття надійшла до редакції 15.04.2022 р.



Bokovets S.P., Pertsevoi F.V.
Sumy National Agrarian University

RESEARCH OF DYNAMIC VISCOSITY OF FILLINGS FOR PRODUCTION OF CHOCOLATE BARS

Summary

The article is devoted to the study of the influence of concentrations of prescription components and temperature on the dynamic viscosity of agar-based model solutions in the production of fillings for the production of chocolate bars.

The dynamic viscosity of the model systems "agar-water", "agar-water-glycerin", "agar-water-glycerin-honey", "agar-water-glycerin-honey-sesame flour" was experimentally studied with the help of a rotary viscometer. Glycerin was added to the model systems in the range of 0.1... 0.5% in steps of 0.1%. The introduction of honey into the gel solution was 15 ... 35% in increments of 5%. The addition of sesame flour took place in the range of 10 ... 50% in steps of 10%.

The agar-water-glycerin system was prepared as follows. A portion of the dry component was poured into water at 20 ± 2 ° C, stirred, then glycerol was added and allowed to swell for 30-40 × 60 c. Next, this solution was heated in a water bath at a temperature of 85-95 ° C until complete dissolution of the agar. After the agar was completely dissolved, honey (agar-water-glycerin-honey model solution), sesame flour (agar-water-glycerin-honey-sesame flour model solution) was added to the solution and mixed thoroughly.

The effect of glycerin, honey and sesame flour on the dynamic viscosity of agar solutions in the manufacture of fillings for the production of chocolate bars has been scientifically substantiated.

It is determined that the viscosity of the system "agar-water-glycerin" increases 2.5 times with the addition of glycerin concentrations above $0.3 \pm 0.02\%$, which may be due to the synergistic interaction of glycerol with agar, which promotes the formation a large number of intermolecular hydrogen compounds.

Increasing the concentration of glycerol leads to an increase in the rate of crosslinking of the structure and too rapid an increase in strength, which complicates the mixing process. When adding honey in the amount of $25 \pm 2\%$, the desired stable structure of the filling is formed.

Key words: dynamic viscosity, filling, agar, glycerin, honey, sesame flour, model systems, chocolate bar.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-13

УДК 637.134

К. О. Самойчук, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: 0619421306

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОЧНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

Анотація. При дослідженні змін дисперсних характеристик мікроемульсій під час обробки в диспергаторах, емульсаторах та гомогенізаторах використовують непрямі методи, які призводять до появи суттєвих похибок. Здійснено короткий аналіз основних методів визначення дисперсних характеристик мікроемульсій. Найбільш перспективним визначено метод прямого вимірювання жирових кульок в оптичному мікроскопі. Для визначення дисперсних характеристик молочних (або інших мікроемульсій) необхідні: оптичний мікроскоп з вбудованою цифровою камерою і комп'ютер. Розроблена методика визначення основних дисперсних характеристик мікроемульсій (середній діаметр, середньоквадратичне відхилення розмірів, коефіцієнт варіації з побудовою гістограм розподілу), придатну до застосування при оцінюванні якості гомогенізації молока.

Ключові слова. Молочна емульсія, молоко, дисперсність, жирова кулька, діаметр жирової кульки, методика.

Постановка проблеми. При дослідженні змін дисперсних характеристик мікроемульсій під час обробки в диспергаторах, емульсаторах та гомогенізаторах використовують непрямі методи, які призводять до появи суттєвих похибок. Наприклад, для визначення ступеня диспергування молочного жиру після гомогенізації часто використовують показник відстоювання жиру протягом певного часу після обробки. Для прискорення отримання результату проби молока центрифугують та вимірюють вміст жиру у верхній та нижніх частинах пробірки. Але при цьому не враховують стан білкових фракцій молока, які можуть мати високу здатність до агрегації (злипання) жирових часток (кульок молока) та суттєвого спотворення точності такого методу. Особливо значні розбіжності результатів таких методів визначення дисперсності з дійсними значеннями наявні при розробці нових конструкцій гомогенізаторів та диспергаторів [1, 2]. Вирішенням



проблеми могла б бути розробка державного стандарту з визначення якості гомогенізації молока, якого наразі не існує [3, 4]. В зв'язку з цим виникає необхідність знаходження простого, надійного і прямого методу вимірювання дисперсних характеристик мікроемульсій, придатного для використання у невеликих дослідницьких центрах, учбових закладах та у виробничих умовах (молокопереробних підприємствах).

Аналіз останніх досліджень. Виходячи з визначення терміну "гомогенізація", під якістю гомогенізації слід розуміти три показника:

- показник зменшення розмірів жирових кульок;
- показник рівномірності розподілу жирових кульок по об'єму дисперсійного середовища (гомогенності);
- показник стабільності знов утворених більш дрібних жирових кульок, відсутність їх коалесценції та утворення агломератів протягом певного часу, після диспергування [5, 6].

Перший з них характеризує "ступінь гомогенізації", другий "гомогенність" і третій – "стабільність емульсії". Дуже часто ці вирази ототожнюють.

Комплексним показником якості емульсії служить стійкість емульсії. Стійкість характеризується часом, протягом якого емульсія руйнується, і обсягом дисперсної фази, що відокремилася в процесі коалесценції на фоні емульсії. Комплексність показника якості емульсії полягає в тому, що стійкість емульсії залежить не тільки від ступеня диспергування фази, вона також визначається складом і структурно-механічними властивостями сорбційного шару на межі розділу фаз, котрий запобігає подальшій коалесценції дисперсної фази.

Не зупиняючись детально на існуючих методах оцінки якості гомогенізації та способах їх здійснення, перелічимо їх і вкажемо основні їх властивості [1, 3, 7].

Електричні: (кондуктометричні - вимірювання опору електроліту в мікроотворах при проходженні через них непровідних, наприклад, масляних часток; діелькометричні - вимірювання тривалості імпульсів струму внаслідок зміни ємності плоского конденсатора при русі частинок між обкладками плоского конденсатора).

Оптичні, в тому числі: мікроскопічний, електронно-мікроскопічний, телевізійний, ультрамікроскопічний, дифракційний, нефелометричний, за характером розсіяного світла [4, 8];

Акустичні: по вимірюванню коефіцієнта поглинання ультразвуку, за резонансною кривою поглинання на необхідному інтервалі частоти ультразвуку, які дозволяють визначити експериментально криву розподілу частинок [9, 10].

Седиментаційні – вимірювання швидкості розшарування емульсії на складові компоненти.



З перерахованих способів практично всі визначають характеристики дисперсійного складу емульсій опосередковано, що призводить до неточностей та похибок. Безпосереднім способом визначення розмірів жирових кульок є оптичний спосіб – вимірювання під мікроскопом, або «мікроскопування». Цей спосіб завдяки високій точності і було використано як найбільш перспективний.

Формування мети статті. Розробити методику визначення дисперсних характеристик мікроемульсій, придатну до застосування при оцінюванні якості гомогенізації молока.

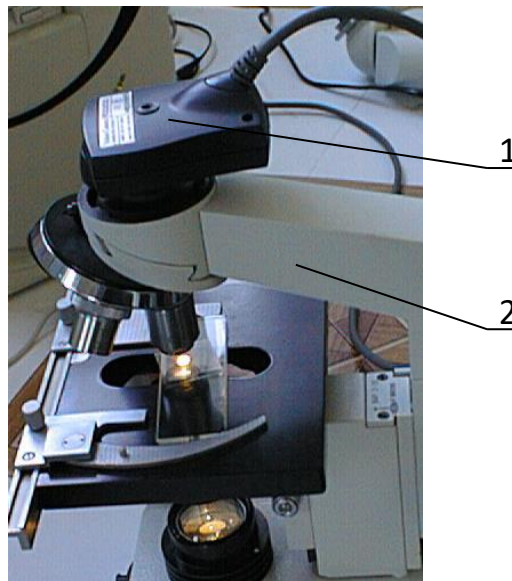
Основна частина. Для створення мікрофотографій жирових кульок використовується цифрова камера з пристосуванням для з'єднання з окуляром мікроскопа (або замість нього). Цифрові дані (поля зору мікроскопа зі зразками емульсії) передаються на комп'ютер, де зберігаються та можуть бути в зручний час (вже після проведення досліджень) оброблені за допомогою програмного забезпечення (в т.ч. безкоштовних версій комп'ютерних програм). Таким чином для визначення дисперсних характеристик молочних (або інших мікроемульсій) необхідні: оптичний мікроскоп з вбудованою цифровою камерою (або окрема цифрова камера з можливістю кріплення на окуляр мікроскопа) і комп'ютер.

При мікроскопуванні емульсію після гомогенізації ретельно перемішують, неодноразово переливаючи із судини в судину, уникаючи піноутворення [3, 6]. У мірну колбу ємністю 250 мл наливали до половини дистильовану воду, потім 1 мл емульсії. Вміст колби перемішували, доводячи водою до мітки, та знову перемішували. З кожного зразка емульсії готували 3 розведення, а з кожного розведення – 2 препарати. З кожної проби емульсії отримували 6 препаратів. Для збільшення контрастності жирових кульок використовували мочевину. При нанесенні краплі розбавленого молока на предметне скло її покривали покривним склом, краї якого тонко змащували. При накриванні препарату покривне скло легко придавлювали, утворюючи закритий об'єм препарату, товщина якого складала близько 70 мкм.

При мікроскопуванні можна отримати чітке зображення тільки верхнього шару жирових кульок, тому після приготування препарат залишали стояти протягом 20–30 хвилин, щоб жирові кульки сплили. Заміри проводили за допомогою мірного окуляра та об'єктмікрометра.

Так як жирові кульки постійно знаходяться у русі під дією Броунівських сил, для їх фіксації і подальших підрахунків використовували лічильну камеру Горяєва. Для підвищення продуктивності, полегшення вимірювань і підрахунків та зменшення похибок використовували мікрофотографування з комп'ютерним аналізом отриманих зображень [5]. Для отримання мікрофотографій використовували оптичний мікроскоп МИКРОМЕД-1 з пристосованою

веб-камерою, яку було під'єднано до персонального комп'ютера (рис. 1).



1 – цифрова камера (Web камера), 2 – оптичний мікроскоп

Рисунок 1. Загальний вигляд мікроскопа з під'єднаною цифровою камерою.

Для того, щоб отримати оптимальне поле зору та більш якісне зображення, об'єktiv веб-камери прикріплювали до місця на мікроскопі, яке призначене для приєднання фотонасадки. Кратність збільшення становила 640 разів при отриманні фотографії розмірами $10,8 \times 8,1$ см (при розрешальній здатності камери мінімально 640×480 пікселів).

Крім ступеня подрібнення та рівномірності розподілу дисперсних часток по об'єму емульсії, якість гомогенізації визначається здатністю жирової фази залишатись стабільною протягом певного часу після гомогенізації. Стабільність жирової фази перевіряли способом седиментаційного аналізу [2]. Сутність способу заснована на залежності швидкості відстоювання жирової фази внаслідок спливання часток жиру від їх розміру [1]. Для цього 250 см^3 молока наливали у циліндр та вистоювали 24 або 48 год. при температурі $4 \dots 8 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначали масову концентрацію жиру c_H у нижніх шарах емульсії об'ємом 150 см^3 в циліндрі.

Показник стабільності жирової молочної емульсії або показник відстоювання жиру визначали з виразу

$$\chi = \frac{c_0 - c_H}{c_0 - \frac{3c_H}{5}}, \quad (1)$$

де: c_0 - концентрація жирової фази в початковій емульсії, %.



Вміст жиру у молоці визначався за ДСТУ ISO 488:2007 "Молоко. Визначання масової частки жиру", ДСТУ ISO 11870:2007 "Молоко і молочні продукти. Визначення масової частки жиру. Загальні рекомендації щодо використання методів із застосуванням жиромірів". Жирова емульсія має високу стабільність, якщо відсоток відстоювання жиру в ній не перевищує 10%, тобто $\chi \leq 0,1$.

Для визначення дисперсних характеристик молочної емульсії з отриманих мікрофотографій застосовувана методика аналізу геометричних характеристик жирових кульок на основі технологій аналізу цифрових зображень. З цією метою розроблено програмного модуль, який реалізовано в середовищі Microsoft Visual Studio на базі С# з застосуванням набору бібліотек OpenCV Sharp. Експорт отриманих числових даних у Microsoft Office Excel та розрахунок статистичних даних вибірки.

В результаті проведеної обробки був отриманий розподіл розмірів жирових кульок молока за їх кількістю шляхом обробки вибірки даних. Підрахунок основних параметрів вибірки, здійснювали за допомогою засобів програми Microsoft Office Excel. У ході обробки визначали: середній діаметр жирових кульок, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації.

Як правило, для поглибленого оцінювання дисперсних характеристик мікроемульсій, які вивчаються на етапі розробки нових гомогенізаторів або диспергаторів, цих характеристик достатньою.

Висновок. Розроблена методика визначення основних дисперсних характеристик мікроемульсій (середній діаметр, середньоквадратичне відхилення розмірів, коефіцієнт варіації з побудовою гістограм розподілу), придатну до застосування при оцінюванні якості гомогенізації молока. Ця методика відрізняється простотою, надійністю і достатньою точністю прямого методу вимірювання дисперсних характеристик мікроемульсій і придатна для використання у невеликих дослідницьких центрах, учбових закладах та у виробничих умовах (молокопереробних підприємствах).

Список використаних джерел

1. Крись Г. Н., Шалыгина З. В., Волокитина З. В. Методы исследования молока и молочных продуктов / под ред. А.М. Шалыгиной. М.: Колос. 2002. 368 с. ISBN 5-10-003440-8.
2. Липатов Н. Н., Сажинов Г. Ю., Башкиров О. И. Совокупное качество технологических процессов молочной промышленности и количественные критерии его оценки. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. №4. С. 33–34.
3. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Івженко А. О. Аналіз методів



оцінювання якості гомогенізації молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип.12, Т.4. С. 222–229. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/873/1>

4. Бобицький Я., Клімкевич Р. Порівняльний аналіз оптичних методів вимірювання розмірів мікрочастинок. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2007. № 67. С. 48–55. <https://ena.lpnu.ua/bitstream/ntb/6470/1/09.pdf>

5. Иванов С. В., Рыжкова Т. М., Васильев В. С. Научно-практическое значение разработанной нами методики по проведению оценки жировых шариков молока. *Научные труды SWorld*. 2014. Т.8 №3. С. 7–14. <https://www.sworld.com.ua/konfer36/147.pdf>

6. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Левченко Л. В. Методика розрахунку дисперсності молочної емульсії в пульсаційному і струминному гомогенізаторах. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення»*. 2018. С. 314–316.

7. Самойчук К. О. Методика расчёта степени дисперсности эмульсий. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 97–102.

8. Banach J. K., Zywica R., Kielczewska K. Effect of homogenization on milk conductance properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2008. Vol. 58, No. 1, pp. 107–111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030207715953>

9. J. Pereda V. et al. Effects of Ultra-High Pressure Homogenization on Microbial and Physicochemical Shelf Life of Milk. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90, issue 3. P. 1081–1093. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71595-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71595-3)

10. BiaoYanga, et al. A portable detector on main compositions of raw and homogenized milk. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 177. 105668. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105668>

Стаття надійшла до редакції 23.03.2022 р.

K. Samoichuk

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

METHOD OF EVALUATION OF QUALITY OF HOMOGENIZATION OF MILK EMULSION

Summary

In the study of changes in the dispersed characteristics of microemulsions during processing in dispersants, emulsifiers and homogenizers use indirect methods that lead to significant errors. A solution to the problem could be the development of a state standard for determining the quality of homogenization of milk, which does not currently exist. A



brief analysis of the main methods for determining the dispersed characteristics of microemulsions: electrical (conductometric, dielectric), optical (microscopic, electron microscopic, television, ultramicroscopic, diffraction, nephelometric, scattered light), acoustic, sedimentary. The most promising method is the direct measurement of fat globules in an optical microscope. A digital camera with a device for connection to the microscope eyepiece (or instead) is used to create microphotographs of fat globules. Digital data (field of view of the microscope with emulsion samples) is transmitted to a computer, where it is stored and can be conveniently processed (already after research) using software (including free versions of computer programs). Thus, to determine the dispersed characteristics of milk (or other microemulsions) you need: an optical microscope with a built-in digital camera (or a separate digital camera that can be mounted on the eyepiece of the microscope) and a computer. A method for determining the main dispersed characteristics of microemulsions (mean diameter, standard deviation of dimensions, coefficient of variation with the construction of distribution histograms), developed for use in assessing the quality of homogenization of milk. This technique is simple, reliable and sufficiently accurate direct method of measuring the dispersed characteristics of microemulsions and is suitable for use in small research centers, educational institutions and in production conditions (dairy plants).

Key words: Milk emulsion, milk, dispersion, fat ball, fat globule, diameter, method.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-14

УДК 621.37:637

М. М. Самілик, к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-4826-2080

Цинь Сюаньсуань, аспірант

ORCID: 0000-0001-5810-6471

Н. В. Болгова, к.с.-г.н., доцент

ORCID: 0000-0002-0201-0769

Сумський національний аграрний університет

e-mail: maryna.familyk@snaeu.edu.ua, тел.: (066)378-67-39

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ КИСЛОМОЛОЧНИХ НАПОЇВ З ПІДВИЩЕНОЮ БІОЛОГІЧНОЮ ЦІННІСТЮ

Анотація. Дедалі частіше споживачі у всьому світі віддають перевагу харчовим продуктам з різноманітними функціональними властивостями. До таких продуктів відносяться кисломолочні продукти. В нашій країні рекомендована кількість їх споживання становить 500-750 мл на добу. До складу кисломолочних напоїв входять майже всі корисні нутрієнти, крім харчових волокон. Хоча відомо, що харчові волокна позитивно впливають на функції шлунково-кишкового тракту, вони є поживним середовищем для корисної мікрофлори. Тому, на нашу думку, актуальним є питання розробки кисломолочних напоїв, збагачених рослинними добавками, що містять велику кількість харчових волокон. В якості добавок було запропоновано продукти переробки рослинної сировини – кунжутне та рисове борошно. Ці продукти є відходами виробництва олії та крупи. Зазвичай вони використовуються в якості корму для тварин. Разом з тим, ці продукти переробки містять велику кількість білків та харчових волокон. В статті проаналізовано нутрієнтний склад кунжутного та рисового борошна. Запропонована технологічна схема виготовлення кисломолочних напоїв, збагачених харчовими волокнами. За стандартними методиками досліджено деякі фізико-хімічні показники якості кисломолочних напоїв (рН, кислотність, масову частку жирів, білків, харчових волокон). Результати показали, що рівень рН у всіх зразках зберігається в межах норми протягом 14 діб. При додаванні 0,3% рисового борошна рівень кислотності після сквашування був на 7,42 °Т нижче нормативного, у зразку із борошном кунжуту цей показник відповідав нормі протягом 7 діб, а на 14 добу дослідження в незначній мірі (на 3°Т) перевищував норму. У зразках із добавками спостерігався більший вміст білків (4,3 % у зразку із кунжутним борошном та 4,1 % із рисовим) та харчових волокон (0,68 % у зразку із кунжутним борошном та 0,5 % із рисовим) порівняно із контрольним



зразком. Встановлено, що додавання 2 % кунжутного борошна та 0,3 % рисового борошна сприяє збільшенню терміну зберігання кисломолочного напою до 7 діб.

Ключові слова: кисломолочні напої, похідні переробки рослин, рисове борошно, кунжутне борошно, харчові волокна.

Постановка проблеми. Кисломолочні напої мають багатий хімічний склад. Вони містять майже всі корисні нутрієнти: білки, жири, вуглеводи, вітаміни А, D, С, Е, В, Н, РР, мінеральні речовини (К, Са, F, Cu, Sn, Sr, Mg, Al, Co, Mo), амінокислоти, лакто- та біфідобактерії, антиоксиданти [1, 2]. Рекомендована добова кількість споживання кисломолочних продуктів (Наказ МОЗ України від 18.12.2012 № 1069) 500-750 мл. Разом з тим, одні лише харчові нутрієнти не є основними показниками цінності їжі. Справжня цінність їжі полягає у її здатності до самоперетравлювання в шлунку людини і одночасно здатність бути поживним середовищем для корисної мікрофлори кишківника. Така властивість притаманна харчовим волокнам (баластним речовинам), які не містяться у кисломолочних напоях без добавок.

Споживачі у всьому світі віддають перевагу продуктам, які можуть допомогти запобігти захворюванням, пов'язаним з харчуванням, і покращити самопочуття. Ці основи виникли з концепції «функціональної їжі», що означає «продукти, які можуть принести користь здоров'ю, крім основного харчування» [3]. Тому актуальним питанням є розширення асортименту кисломолочних напоїв із різноманітними рослинними добавками, що мають високий вміст харчових волокон.

Аналіз останніх досліджень. Для виробництва кефіру можна використовувати кілька схем, які мають однаковий основний принцип. Одним із способів виробництва кисломолочних напоїв по типу кефір є змішування двох видів молока, наприклад, кобилячого, козячого або овечого молока [4], або додавання таких добавок, як нативний інулін, щоб покращити його корисний ефект і кінцеву текстуру [5]. Альтернативним способом виробництва кефіру є використання немолочних субстратів, таких як фрукти та патока, для виробництва солодкого кефіру, який має унікальні сенсорні властивості, такі як освіжаючий смак завдяки наявності етанолу, фруктовий аромат завдяки наявності складних ефірів. а також тіло і текстуру, пов'язані з вмістом гліцерину [6]. За традиційною технологією виробництво кисломолочного напою типу кефір проводиться шляхом ферментування молока молочнокислими бактеріями *Lactobacillus acidophilus* і дріжджі *Saccharomyces kefir* при 25 °С до досягнення рН 4,4 [7].

Для створення функціональних кисломолочних напоїв до них



додавали велику кількість різноманітних добавок, наприклад, багаті на антоціани соки [8], каву [9], цедру манго [10], зерна фави і включення слизу нуту [11] тощо.

Кефір можна поєднувати з багатьма видами рослинних інгредієнтів. Багато вчених присвятили себе здоровому харчуванню, вводючи в кефір рослинні інгредієнти [12]. Дослідження показали, що введення рослинних інгредієнтів призводить до зниження в'язкості, відділення сироватки та зниження чутливості. Це призводило до необхідності застосування ароматизаторів і стабілізаторів, внесення яких призводить до зменшення популяції пробіотиків. При цьому біологічна цінність кисломолочних напоїв знижувалася [13, 14, 15]. Тому актуальним завданням є впровадження таких рослинних інгредієнтів, які не мали б негативного впливу на кисломолочні напої, особливо на їх стабільність. Останнім часом помітною тенденцією є введення в кисломолочних напоїв харчових волокон. Харчова клітковина корисна для здоров'я, і вона впливає на профілактику раку товстої кишки, запору, запобігання діабету та зниження ваги [16,17,18,19]. Деякі дослідження показали позитивний вплив харчових волокон на кисломолочні напої, включаючи вплив на пробіотики, реологічні властивості [20,21]. Встановлено, що введення харчових волокон може знизити кислотність кисломолочних напоїв, покращуючи їх смакові властивості [22]. Додавання клітковини стимулює розмноження пробіотиків [23].

Формулювання мети статті. Аналіз показав, що у світі існує велика кількість кисломолочних напоїв, що мають функціональні властивості. Проте, в Україні асортимент кисломолочних напоїв із рослинними добавками невеликий. Метою нашого дослідження є розробка технології кисломолочного напою підвищеної біологічної цінності, збагаченого рослинними добавками.

Для вирішення поставленої мети слід вирішити наступні завдання:

- підібрати рослинні добавки з високим вмістом харчових волокон;
- розробити технологічну схему виготовлення кисломолочного напою, збагаченого рослинною добавкою;
- дослідити фізико-хімічні показники збагачених кисломолочних напоїв.

Основна частина. До рослинних джерел харчових волокон з гарними сенсорними властивостями можна віднести продукти переробки олійних та зернових культур. Борошно кунжуту є різновидом побічного продукту, який зазвичай викидається або використовується як їжа для тварин. Після екстракції кунжутної олії утворюється напівзнежирена кунжутна макуха, яка містить 50 % білка, високий вміст кальцію (1,5 г/100 г) і сирі клітковини (10,8 г/100 г) [24], фенольні сполуки, що виявляють антиоксидантну, антимуtagenну та



антимікробну активність [25], лігнани і мінеральні речовини: калій (4,6–5,3 г/кг), фосфор (1,7–2,3 г/кг), магній (0,018–0,052 г/кг) [26].

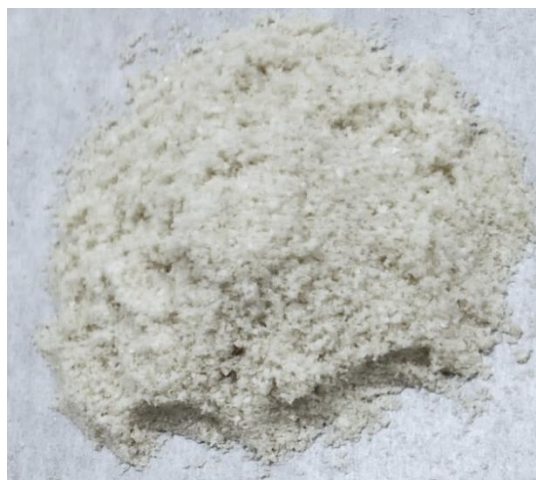


Рисунок 1. Кунжутне борошно

Рисове борошно є побічним продуктом рисомолочної промисловості і становить близько 10 % від загальної ваги грубого рису. В основному воно складається з алейрону, перикарпію, підалейронового шару та зародку. Щороку 90 % рисових висівок, вироблених у світі, дешево використовуються як корм для великої рогатої худоби та птиці, а решта використовується для отримання олії з рисових висівок [27]. Білки рисових висівок є різновидом високоякісних білків, вони мають відповідний амінокислотний склад і високу біологічну дію, вміст лізину досягає 5,8 г/100 г. Як правило, рисові висівки все ще мають більшу важливість поживних речовин, хоча використовується процес подрібнення. За даними дослідження [28] знежирені рисові висівки містять (% сухої основи): вуглеводів (43,5-54,3 %), білків (14,1-18,2 %), жирів (1,6-20,9 %), золи (12,8-15,3%), клітковини (8,4-10,5 %).



Рисунок 2. Рисове борошно



Таким чином, додавання кунжутного та рисового борошна до кисломолочного напою є доцільним і може підвищити біологічну цінність готового продукту. Серією наших попередніх досліджень [29] встановлено кількість доданих порошків, яка не мала негативного впливу на органолептичні показники готового продукту. Було встановлено, що кунжутне борошно можна додавати у кількості 2 % до маси молока, а рисове – лише 0,3 %. При збільшенні кількості рисового борошна до 1 %, кислотність швидко зростає вже під час сквашування, перевищуючи допустимі норми.

Нами розроблена технологічна схема виготовлення кисломолочного напою із підвищеною біологічною цінністю (рис.3).

За цією схемою очищене охолоджене до 4 °С молоко направляється на тимчасове резервування. Перед сепаруванням, для прискорення процесу, молоко нагрівається до температури 35-40°С. Нормалізоване молоко пастеризується при температурі 85-90°С з витримкою 2-4 хв. В процесі пастеризації (при досягненні температури 70°С) до молока додається суспензія кунжутного (2 %) або рисового (0,3 %) борошна. Далі суміш ретельно перемішується протягом 5 хв. Для приготування суспензії у співвідношенні 1:1 змішується пастеризоване молоко ($t=75^{\circ}\text{C}$) та рослинне борошно. Після витримання суміш охолоджується до температури 25°С, після чого в неї вноситься симбіотична кефірна закваска на кефірних грибках і сквашується.

Сквашений кисломолочний напій охолоджується до 4-6°С і після визрівання направляється на зберігання.

В готових продуктах, одразу після сквашування та на 7, 14 добу зберігання було досліджено фізико-хімічні показники. Результати дослідження представлено в таблиці 1.

Результати показали, що при додаванні 2 % знежиреного кунжутного борошна всі показники, крім кислотності, знаходились в межах норми протягом всього терміну дослідження. Крім того, в готовому продукті спостерігається високий вміст білка (4,3 %) та харчових волокон (0,68 %). Також, підвищується масова частка жиру. За технологічною схемою передбачена нормалізація молока до масової частки жиру 3,2 %. Підвищення цього показника, ймовірно, пов'язане з тим, що в кунжутному шроті, із якого виготовлене борошно, залишається певна кількість жирів після пресування олії. При додаванні 0,3 % рисового борошна рівень кислотності після сквашування був на 7,42 °Т нижче нормативного, але в процесі зберігання, цей показник підвищувався і вже на 7-му добу відповідав нормативному значенню (86,15). Введення добавок могло б разуче знизити значення рН та підвищити титровану кислотність. В процесі



Рисунок 3. Технологічна схема виробництва кисломолочного напою із підвищеною біологічною цінністю



Таблиця 1.

Результати аналізу фізико-хімічних показників

Показник	Нормативна величина	Контроль			2 % кунжутного борошна			0,3 % рисового борошна		
		Доба дослідження								
		1	7	14	1	7	14	1	7	14
pH	4.8-4,0	5,0	4,8	4,7	4,4	4,16	4,14	4,7	4,6	4,5
Кислотність, °Т	85-130	68	75	83	112	125	133	77	86	91
Масова частка жиру, %	1-5	3,2			4,1			3,6		
Масова частка білка, % не менше ніж	2,7	2,36			4,3			4,1		
Вміст харчових волокон, %	-	-			0,68			0,5		

зберігання не спостерігалось суттєвого підвищення кислотності, це може бути викликано наявністю харчових волокон, які здатні утримувати воду.

Висновки. Враховуючи результати описаних досліджень зауважимо, що рисове і кунжутне борошно доцільно використовувати в якості добавки до кисломолочних напоїв для підвищення їх біологічної цінності. Додавання рослинних порошоків у невеликій кількості (0,3 % рисового або 2 % кунжутного борошна) дозволяє отримати кисломолочні напої з високим вмістом білків та харчових волокон. Термін зберігання таких напоїв перевищує термін зберігання кефіру і становить 7 діб.

Список використаних джерел

1. Ozer B., Gulsun Akdemir-Evrendilek. Dairy microbiology and biochemistry: recent developments. *Crc Press*. 2014. P. 39–67. doi:10.1201/B17297.
2. Ahmed J., Reddy B. S., Molbak L., Leser T. D., MacFie J. Impact of probiotics on colonic microflora in patients with colitis: A prospective double blind randomised crossover study. *International Journal of Surgery*. 2013. Vol. 11, №10. P. 1131–1136. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2013.08.019>.
3. István Siró 1, Emese Kápolna, Beáta Kápolna, Andrea Lugasi. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance- a review. *Appetite*. 2008. Vol. 51, №3. P. 56–67. doi: 10.1016/j.appet.2008.05.060.
4. Cais-Sokolińska D. Rheological, texture and sensory properties of kefir from mare's milk and its mixtures with goat and sheep milk.



Mljekarstvo. 2016. Vol. 66, №4. P. 272–281. DOI:10.15567/mljekarstvo.2016.0403.

5. Pawe Glibowski, Anna Kowalska. Rheological, texture and sensory properties of kefir with high performance and native inulin. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol.111, №2. P. 299–304. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.02.019.

6. Fiorda F. A., de Melo Pereira G. V., Thomaz-Soccol V., Rakshit S. K., Pagnoncelli M.G.B., Vandenberghe L.P.d.S., Soccol C.R. Microbiological, biochemical, and functional aspects of sugary kefir fermentation – A review. *Food Microbiology*. 2017. Vol. 66. P.86–95. DOI: 10.1016/j.fm.2017.04.004.

7. Dong-Hyeon K., Dana J., Song K. Y., Kun-Ho S. Comparison of traditional and backslipping methods for kefir fermentation based on physicochemical and microbiological characteristics. *LWT*. 2018. Vol. 97. P.503–507. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.023>.

8. Kabac S. A., Türkyılmaz M., Zkan M. Changes in the Quality of Kefir Fortified with Anthocyanin-rich Juices during Storage. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 326. 126977. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126977>.

9. Vimercati W. C., Araújo C., Macedo L. L., Fonseca H. C., Guimares J. S., Abreu L., Pinto S. M. Physicochemical, rheological, microbiological and sensory properties of newly developed coffee flavored kefir. *LWT*. 2020. Vol.123. 109069. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109069>.

10. Vicenssuto G. M., Castro R. Development of a novel probiotic milk product with enhanced antioxidant properties using mango peel as a fermentation substrate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. Vol. 24, №4. 101564. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101564>.

11. Saadi L. O., Zaidi F., Sanz T., Haros C. M. Effect of faba bean and chickpea mucilage incorporation in the structure and functionality of kefir. *Food Science and Technology International*. 2020. Vol. 26, №4. P.503–511 <https://doi.org/10.1177/1082013220908089>

12. Zaharova L. Development and Introduction of New Dairy Technologies. *Foods and Raw Materials*. 2014. Vol. 2, №2. P.68–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.12737/5462>.

13. Huang Y. Y., She Z. Y., Shu M. Y. antibacterial activity of foods additives against two strains of lactic acid bacteria. *China Dairy Industry*. 2015. Vol. 43, №8. P. 16–18. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-2230.2015.08.004>.

14. Liu S. J., Hou L. Y., Peng Z. Y. Effects of Food Additives on the Activity of Lactic in Probiotic Drink. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*. 2018. Vol. 32, №03. P. 35–39. <https://doi.org/10.3969/J.ISSN.1672-7983.2018.03.007>.

15. Shleikin A. G., Barakova N. V., Petrova M. N., Danilov N. P.,



Argymbaeva A. E. The influence of sugar syrup, honey and cereals on the rheological properties of yogurt. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pischevyh proizvodstv»*. 2015. Vol. 2, №24. P. 24–34.

16. Micka A., Siepelmeyer A., Holz A., Theis S., Schn C. Effect of consumption of chicory inulin on bowel function in healthy subjects with constipation: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *International journal of food sciences and nutrition*. 2017. Vol. 68, №1. 82–89. doi: 10.1080/09637486.2016.1212819.

17. Carvalho D., Silva L., Filho E. A., Santos F., Lima R., Viana A. F., Nunes I., Fonseca S., Melo T., Viana D. Cashew apple fiber prevents high fat diet-induced obesity in mice: an NMR metabolomic evaluation. *Food & Function*. 2019. Vol. 10, №3. P. 1671–1683. doi: 10.1039/c8fo01575a.

18. Fernández J., Ledesma E., Monte J., Millán E., Lombó F. Traditional Processed Meat Products Re-designed Towards Inulin-rich Functional Foods Reduce Polyps in Two Colorectal Cancer Animal Models. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9, №1. DOI:10.1038/s41598-019-51437-w.

19. Li L., Pan M., Pan S., Li W., Nie S. Effects of insoluble and soluble fibers isolated from barley on blood glucose, serum lipids, liver function and caecal short-chain fatty acids in type 2 diabetic and normal rats. *Food and Chemical Toxicology*, 2019. Vol.135, 110937. doi: 10.1016/j.fct.2019.110937.

20. Aguiar D., Magalhães S. S., Barbosa G. N., Souza L., Cardoso A., Cruz X. Physicochemical, sensory, and microbiological evaluation and development of symbiotic fermented drink. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2013. Vol. 33, №4. P. 805–811. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000400030>.

21. Goncu B. Some properties of kefir enriched with apple and lemon fiber. *Mljekarstvo*. 2017. Vol. 67, №3. P. 208–216. doi: 10.15567/mljekarstvo.2017.0305.

22. Hekmat S., Irvine S. L. Evaluation of Sensory Properties of Probiotic Yogurt Containing Food Products with Prebiotic Fibresin Mwanza, Tanzania. *Food and Nutrition Sciences*. 2011. Vol. 2, №5. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.25061>.

23. Desai A. R., Powell I. B., Shah N. P. Survival and Activity of Probiotic Lactobacilli in Skim Milk Containing Prebiotics. *Journal of Food Science*. 2004. Vol. 69, №3. P. FMS57-FMS60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13371.x>

24. Mohdaly A. A. A., Hassanien M. F. R., Mahmoud A., Sarhan M. A., Smetanska I. Phenolics Extracted from Potato, Sugar Beet, and Sesame Processing By-Products. *International Journal of Food Properties*. 2013. Vol. 16, №5. P. 1148–1168. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.578318>.

25. Reham Hassan, Mekky Essam, Abdel-Sattar Antonio, Segura-



Carretero, María Del, Mar. Phenolic Compounds from Sesame Cake and Antioxidant Activity: A New Insight for Agri-Food Residues' Significance for Sustainable Development. *Foods*. 2019. Vol. 8, №10. P.432. doi: 10.3390/foods8100432.

26. Yang K., Yanhong F. U., Fei L., Sun P. Extraction and Antioxidation Activity of Lignans From Cold-pressed Sesame Cake. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 33, №05. P. 902–910. <https://doi.org/10.11869/j.issn.100-8551.2019.05.0902>.

27. Zullaikah S., Melwita E., Ju Y.-H. Isolation of oryzanol from crude rice bran oil. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, №1. P. 299–302. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.008>.

28. Prakash J., Ramaswamy H. S. Rice bran proteins: properties and food uses. *C R C Critical Reviews in Food Technology*. 1996. Vol. 36, №6. P. 537–552. <https://doi.org/10.1080/10408399609527738>

29. Qin Xuanxuan, Samilyk Maryna, Luo Yanghe, Sokolenko Viktoriia, Influence of Sesame Flour on Physicochemical Properties of Sour Milk Drinks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3, №11(111). P.6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234752>.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2022 р.

M. Samilyk, Xuanxuan Qin, N. Bolgova
Sumy National Agrarian University

EXPANDING THE RANGE OF FERROUS MILK DRINKS WITH INCREASED BIOLOGICAL VALUE

Summary

Increasingly, consumers around the world prefer foods with a variety of functional properties. These products include dairy products. In our country, the recommended amount of their consumption is 500-750 ml per day. The composition of sour-milk drinks includes almost all useful nutrients, except for dietary fiber. Although it is known that dietary fiber has a positive effect on the functions of the gastrointestinal tract, it is a breeding ground for beneficial microflora. Therefore, in our opinion, the issue of developing fermented milk drinks enriched with herbal supplements containing a large amount of dietary fiber is relevant. As additives, products of processing of vegetable raw materials were proposed - sesame and rice flour. These products are waste products from the production of vegetable oil and cereals. They are usually used as animal feed. However, these processed products contain a large amount of proteins and dietary fiber. The article analyzes the nutrient composition of sesame and rice flour. A technological scheme for the manufacture of fermented milk drinks enriched with dietary fiber is proposed. According to standard methods, some physical and chemical indicators of the quality of fermented milk drinks (pH, acidity, mass fraction of fats, proteins, dietary fibers) were studied. The results showed that the pH level in all samples remained within the normal range for 14 days. With the addition of 0.3% rice flour, the level of acidity



after fermentation was 7.42 °T below the standard, in the sample with sesame flour this indicator corresponded to the norm for 7 days, and on the 14th day of the study it slightly (by 3 °T) exceeded the norm . The supplemented samples had higher protein content (4.3% in the sesame flour sample and 4.1% in the rice flour sample) and dietary fiber (0.68% in the sesame flour sample and 0.5% in the rice flour sample) compared to control sample. It has been established that the addition of 2% sesame flour and 0.3% rice flour increases the shelf life of the fermented milk drink up to 7 days.

Key words: fermented milk drinks, derivatives of plant processing, rice flour, sesame flour, dietary fiber.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-15

УДК 66.084.8:664(045)

Л. М. Крижак, к.т.н

ORCID: 0000-0002-4882-897X

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com

УЛЬТРАЗВУКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Анотація. Переробка харчових продуктів відіграє вирішальну роль у вирішенні проблем продовольчої безпеки за рахунок скорочення втрат та запобігання псуванню. Ультразвук – це нова перспективна технологія у харчовій промисловості, яка підвищує швидкість та ефективність декількох процесів одночасно.

Ультразвукова технологія внесла революцію в харчову промисловість завдяки її широкому застосуванню в різних процесах, та є гарною альтернативою в порівнянні з іншими. Саме така технологія має кілька переваг, таких як швидкість процесів, підвищена ефективність процесу, отримання високої якості продукту і збереження властивостей продукту (консистенції, харчової цінності, органолептичних властивостей), збільшення терміну придатності.

У оглядовій статті узагальнюються застосування ультразвуку в конкретних напрямках харчової промисловості, також розглядаються переваги і недоліки ультразвукової технології. Особливо обґрунтовується подальший розвиток застосування ультразвуку на промисловому рівні.

Ключові слова: ультразвук, ультразвукова обробка, технологічний процес, харчова промисловість, функціонально-технологічні властивості.

Постановка проблеми. На сьогодні в харчовій промисловості значна роль відводиться нетрадиційним способам обробки сировини, які виконують різноманітні функції що сприяють інтенсифікації виробництва, покращують функціональні властивості продовольчої сировини і отриманих на її основі харчових продуктів, подовжують їх термін придатності, дозволяють впроваджувати ресурсо- та енергозберігаючі технології. Різні традиційні методи обробки такі як: консервування, сушіння, смаження, копчення, соління, маринування, замочування і т. д., як і раніше, широко і ефективно використовуються для обробки нетермізованих харчових продуктів.



Основоположний принцип більшості традиційних методів обробки харчових продуктів заснований на використанні теплової обробки для зменшення розмноження та інгібування патогенних мікроорганізмів, що передаються через харчові продукти [1]. Для проведення термічної обробки потрібна велика кількість енергії, яка забезпечує низьку ефективність виробництва, і є операцією яка вимагає великих обсягів зовнішніх ресурсів.

Існує безліч харчових продуктів, що загрожують бактеріальною або вірусною інтоксикацією, для яких обробка нагріванням є небажаною. Такі харчові продукти при термічній обробці можуть зазнавати фізичних, хімічних та мікробіологічних змін, таких як модифікація смаку, кольору та консистенції. В результаті чого є потреба в дослідженнях та розробках для максимального використання існуючих технологій та появи інноваційних і ефективних альтернативних технологій [2].

Нові методи, використовувані в харчовій промисловості, включають обробку під високим тиском, холодну плазму, імпульсне електричне поле, екстракцію рідини, ультрафіолетове опромінення та ультразвук.

Звукові хвилі, що перевищують чутний діапазон частот, тобто більше 20 кГц, називаються «ультразвуком». Коли акустичні хвилі поширюються через середовище, вони викликають стискування та розрідження (декомпресії) у частках середовища. Це, у свою чергу, виробляє велику кількість енергії через турбулентність та збільшення масообміну. В основі лежить принцип відображення та розсіювання звукових хвиль, аналогічних світловим хвилям.

Ультразвук – це нова перспективна технологія у харчовій промисловості, яка підвищує швидкість та ефективність декількох процесів одночасно. Його можна застосовувати у поєднанні з температурою (термомеханічна обробка) та тиском (ультразвукова) для отримання синергетичного ефекту, що ще більше підвищує його ефективність [3, 4]. Залежно від інтенсивності та частоти, ультразвуківі хвилі що використовуються у харчовій промисловості, можна розділити на дві категорії: ультразвук низької та високої інтенсивності.

Ультразвукові хвилі низької інтенсивності або високої частоти також описуються як діагностичні хвилі та мають характерну частоту понад 100 кГц та інтенсивність нижче 1 Вт/см². Вплив таких хвиль може бути використано для оцінки структури (форми та розмірів) харчового продукту, визначення складу свіжості харчових продуктів, таких як м'ясних та рибних.

Принцип роботи низько енергетичного ультразвуку полягає в тому, що він ефективно використовує взаємодію між речовиною та



високочастотними звуковими хвилями для отримання детальної інформації про структуру, розміри та склад продукту, через який він поширюється.

Ультразвукові хвилі високої інтенсивності та низької частоти характеризуються руйнівною дією і, таким чином, значно впливають на фізичні, біохімічні та механічні властивості харчових продуктів на відміну від ультразвуку малої потужності. Їхня частота коливається від 20 до 100 кГц, а інтенсивність знаходиться в діапазоні від 10 до 1000 Вт/см². Це має широке застосування в емульгуванні, регулюванні мікроструктури та модифікації текстурних властивостей жировмісних продуктів, кристалізації та функціональних властивостей харчових білків. Він також має важливе застосування в численних поодиноких операціях: заморожування, сушіння, концентрування, розморожування [5, 6].

Тому, літературний огляд присвячений застосуванню ультразвуку в харчовій промисловості для обробки харчових продуктів з метою покращення функціонально-технологічних властивостей, пов'язаної з подальшими перспективами комерціалізації. Узагальнюються різні застосування ультразвуку в різних технологічних процесах та конкретних напрямках харчової промисловості (м'ясомолочної, плодоовочевої, тощо), виявлення переваг та недоліків технології.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження впливу ультразвуку на біотехнологічні системи харчової промисловості відображені в роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених: як Кнепп Р., Флінн Г., Розенберг Л. Д., Пернік О. Д., Рой М. О., Екнадіосянц О. К., Сіротюк М. Г., Приходько М. А., Новицький Б. Г., Кратиш Г. С., Агранат Б. А., Башкіров В. І., Philipp A., Lauterborn W., Lindau O., Mettin R., Luther S., Koch P., Lang R, Shirley C. Tsai, Luu P., Childs P., Chen S. Tsai та ін.

Автори наведених публікацій довели наступне: в полі ультразвукових хвиль розподіл часточок за розмірами залежить від використання акустичних параметрів ультразвукової обробки (частоти, питомої енергії, тривалості обробки).

Формування цілей статті (постановка завдання). В роботі було вивчено світовий досвід та наукові результати досліджень провідних науковців по використанню ультразвуку в харчовій промисловості.

Основна частина. Ультразвук (УЗ) досить широко використовується в харчовій промисловості. Встановлено, що ультразвукові коливання здатні змінювати агрегатний стан речовини, диспергувати, емульгувати його, змінювати швидкість дифузії, кристалізації і розчинення речовин, активізувати реакції, інтенсифікувати технологічні процеси. Вплив УЗ коливань на фізико-хімічні процеси в харчовій промисловості дає можливість підвищити



продуктивність праці, скоротити енерговитрати, покращити якість готової продукції, продовжити терміни зберігання, а також створити нові продукти з новими споживчими властивостями.

Застосування ультразвуку у харчовій промисловості. На основі проведених наукових досліджень було відмічено, що застосування ультразвукової обробки є ефективним при обробці сировини для виробництва різних харчових продуктів (таблиця 1).

М'ясопереробна промисловість. Використання ультразвуку в м'ясній промисловості розпочалося з оцінки сировини великої рогатої худоби приблизно ще у 1950-х роках. Ультразвук низької інтенсивності зазвичай використовується для покращення органолептичних показників таких як смак, ніжність та якість, які важливі для досягнення прийнятності для споживача. Недавні дослідження вказують на перспективне застосування високоінтенсивного ультразвуку на свіжому м'ясі [7], в основному для розм'якшення [8], засолювання м'яса [9], приготування їжі [10], заморожування [11] та інгібування бактерій [12]. Останні дослідження, спрямовані на пояснення впливу на м'ясні продукти застосування високоінтенсивного ультразвуку, зосереджені на м'язах великої рогатої худоби, переважно на напівсухожильних і найдовших м'язах [13].

Проведені дослідження зосереджені переважно на мікроскопічних змінах, змінах динаміки солі, води та текстури м'ясної тканини, на застосуванні високоінтенсивного ультразвуку. Крім того, окисна стабільність, органолептичні характеристики та колір є важливими характеристиками м'яса, на які впливає ультразвук. Існує чудовий ефект ультразвуку на ніжність та водну динаміку тканини [14].

Було проаналізовано вплив ультразвуку на рН та відмічено, що рН м'яса може збільшуватися порівняно з вихідним значенням до посмертного задублення при обробці ультразвуком (10 Вт/см^2 , 2,6 МГц). Це може бути пов'язане з вивільненням іона в цитоплазму з клітин або зі змінами в структурі білка, що призводить до варіацій у розташуванні іонних функцій, що призводить до зміни рН м'язів. Ультразвук сприяє підвищенню ніжності м'яса та скорочення періоду дозрівання, не впливаючи на інші параметри якості [23, 24]. Це пов'язано з розривом міофібрилярної структури білка, фрагментацією макромолекул колагену, міграцією білка та ін., що прискорює протеоліз, та супроводжується посиленням деградації тропоніну-Т та десміну при ультразвуковій обробці м'яса [25].

Кавітація генерує ударні хвилі, що ушкоджують м'язову структуру. Ультразвук високої інтенсивності збільшує поглинання води та NaCl у в'яленому м'ясі. Простір між волокнами прямо пропорційний інтенсивності ультразвуку, а високі концентрації солі тісно пов'язані з розривом міофібрил [26].



Таблиця 1

Застосування ультразвуку у харчовій промисловості

Категорія	Продукти харчування	Переваги	Джерело
М'ясопереробна промисловість	М'ясо курки, кролика, яловичина, свинина,	Підсилює ніжність; збільшення волоутримуючої здатності; поліпшує колір; підвищення рН та антимікробний ефект; зменшує період старіння	[12, 14]
Плодоовочева промисловість	Свіжі та мінімально оброблені фрукти і овочі, соки, пюре, рафінована олія	Зниження мікробного забруднення; зміна кольору; інактивація ферментів; покращує процес сушіння; оцінка ступеня чистоти і якості олії	[15, 17]
Переробка зерна	Борошняне тісто, хлібобулочні вироби	Оцінка якості тіста і опари: консистенція і реологія, щільність, об'єм; підвищує стійкість, покращує структуру, колір, сенсорні та візуальні аспекти	[17, 18]
Молочна промисловість	Молоко, йогурт, сир, морозиво	Мікробна інактивація; гомогенізація; зменшення жирових шариків; покращення органолептичних показників та якості продукту, скорочує термін дозрівання сирів	[19, 20]
Олієжирова промисловість	Майонези, заправки, креми, емульсії	Збільшення індексу стабільності, об'єм емульсії, індекс активності емульсії	[21, 22]

Маринади для м'яса складаються із солей у двох формах, тобто



вологій та сухій. Було помічено, що інтенсивність ультразвуку, що застосовується, визначає його вплив на свинину під час маринування. Ультразвук призводить до утворення бульбашок, потрапляючи у тканини, що призводить до мікроін'єкцій розчину розсолу у продукт. Цим пояснюється збільшення вмісту солі у м'ясі, обробленому ультразвуком [27].

Ультразвукова обробка сприяє антимікробному ефекту, а також збільшує термін зберігання м'ясних продуктів за рахунок кавітації в рідких середовищах [26]. Антимікробний ефект також залежить від часу контакту з мікроорганізмами, виду мікроорганізмів, кількості їжі та її складу, температури обробки.

УЗ також знаходить своє застосування при заморожуванні м'ясних продуктів, де він може викликати індукцію утворення зародків кристалів при підвищених температурах під час процесу. Це може бути використане для контролю розподілу кристалів льоду, їх розміру, а також вимог часу у заморожених продуктах [11].

Ультразвук може викликати фрагментацію кристалів льоду, збільшуючи кількість ядер і зменшуючи розмір кристалів.

Флодоовочева промисловість. Свіжі фрукти та овочі схильні до прискореної псування, і підтримання їх якості в харчовій промисловості є дуже складним завданням. Ультразвук вважається новою технологією у зниженні рівня до збиральних та після збиральних втрат. Ультразвукові дані у фруктах і овочах інтерпретувати складно, тому що наявні в них пори та порожнечі викликають розсіювання ультразвуку і, таким чином, надають на них послаблюючий ефект. Дослідження показують, що на твердість свіжих фруктів та овочів може впливати застосування ультразвуку, інтенсивність якого варіюється. Крім того, в деяких випадках спостерігалися зміни забарвлення, які можна пояснити ймовірною інактивацією ферментів фенолпероксидази і поліфенолоксидази. Ці ферменти відповідальні за зміну кольору заморожених та термічно необроблених овочів, а також за реакції потемніння.

Обробка ультразвуком також має протимікробну дію, яка може бути пов'язана з утворенням вільних радикалів та кавітацією [28], фізико-хімічні зміни пов'язані з дозріванням і зростанням, збиранням урожаю та терміном зберігання. Крім того, як час збирання врожаю та термін придатності можна побічно оцінити, пов'язавши результати фізіологічних вимірювань, таких як відсоткове співвідношення сухої речовини, щільність, загальна кількість розчинних твердих речовин, борошністість, кислотність, вміст олії з використанням ультразвуку.

В інших дослідженнях вміст цукру та зрілість плодів сливи оцінювали шляхом вимірювання згасання ультразвуку в тканинах плодів, пов'язаного з твердістю сливи [29]. В'язкість та вміст цукру у



відновленому апельсиновому соку вимірювали за допомогою безконтактного ультразвукового процесу, який працював або в режимі наскрізного пропускання, або в режимі ехо-імпульсу [15].

Акустична енергія також значно допомагає у вилученні залишків пестицидів завдяки своїм хімічним та фізичним ефектам. Цей метод очищення ефективний для свіжих фруктів і овочів, так як вимагає менше часу, зберігає колір і поживні речовини, зберігає текстуру і безпечний для використання в харчовій промисловості [30].

Хлібобулочні та макаронні вироби. Існує безліч продуктів на основі злакових, це печиво, сухі сніданки та батончики, хлібобулочні вироби, у тому числі хліб який є основним продуктом. Росс та ін. [31], продемонстрували тісний взаємозв'язок між реологією, згасанням і швидкістю ультразвуку. Це було зроблено шляхом вивчення ступеня змішування трьох видів тіста з борошна з використанням звичайної реології та ультразвукових методів, що забезпечило доказ застосування ультразвуку для контролю якості тіста. В іншому дослідженні показано застосування ультразвуку для характеристики фази бродіння під час випікання хліба [32-33].

Для оцінки текстурних властивостей хлібобулочних виробів підходить низькочастотний процес прямого ультразвукового виміру, який є неруйнівним та швидким. Ультразвук також може покращити твердість тіста, консистенцію хліба та його колір. Це також призводить до чудової якості продуктів з відмінними візуальними та органолептичними властивостями [34].

Українськими науковцями досліджено процес пресування макаронних виробів в полі ультразвуку. На основі проведених досліджень встановлено позитивний вплив ультразвуку на тиск і швидкість пресування макаронного тіста різної вологості, підвищення міцності макаронних виробів, запропоновано механізм застосування ультразвукового впливу для підвищення щільності і якості макаронних виробів. Застосування ультразвуку з амплітудою $A=30\pm 0,5$ мкм, за тиску $6\pm 0,5$ МПа і за температури пресування макаронного тіста $45\pm 2^\circ\text{C}$ сприяє підвищенню адгезійної міцності макаронного тіста та підвищенню швидкості пресування, а отже збільшенню продуктивності преса. Аналізом експериментальних даних встановлено, що використання ультразвуку істотно зменшує тиск при формуванні в'язко-пластичних матеріалів, підвищує продуктивність обладнання, покращує якість виробів і знижує витрати енергії [35].

Проведення додаткових досліджень щодо ідентифікації технологічних процесів приготування тіста з лікувально-профілактичними інгредієнтами та м'ясними додатками в технологічному кавітаційному полі ультразвукових коливань низької і



високої частоти. Ультразвукові коливання, утворюючи кавітаційно-диспергуючий ефект, забезпечують рівномірний розподіл вологи між частинками борошна, більш швидке зволоження частинок дисперсної фази – утворюється розслаблення клейковини, що викликає адгезійний та когезійний ефекти борошна з частинками м'ясних продуктів.

Перемішування диспергованих частинок м'яса з частинками борошна під дією ультразвукових коливань призводить до утворення однорідного гетерогенного середовища. У процесі кавітаційного диспергування частинок борошна і м'ясних частинок в потужному полі ультразвукових хвиль з частотою 22 кГц волога з розчиненими білками, цукром, іншими інгредієнтами будуть утворювати на поверхні тонку плівку, яка покращує не лише зовнішній вид виробів, але й позитивно впливає на терміни збереження інноваційної продукції [36].

Ультразвук також можна використовувати для оцінки властивостей рідкого тіста (в'язкість, реологія, щільність), та властивостей кондитерського виробу (таких як симетрія, висота, щільність, індекс обсягу), які можна використовувати в таких продуктах, як вафлі, пончики, млинці та кекси [37]. При подальших ультразвукових вимірах було встановлено суттєві залежності між консистенцією тіста та акустичним імпедансом.

Молочна промисловість. Ультразвук – це ефективна технологія, яка дозволяє утримувати поживні речовини, що призводить до збільшення терміну придатності та підвищення якості молочних продуктів. У молочній промисловості це було корисно для мікробної інактивації. Внутрішньоклітинна кавітація викликає пошкодження клітинної мембрани мікроорганізмів, утворення вільних радикалів та пошкодження ДНК [20].

Ультразвук високої інтенсивності здатний підвищувати життєздатність пробіотичних штамів для заквашувальних культур, що використовуються у виробництві кисломолочних напоїв та продуктів. Він здатний прискорювати гідроліз лактози за рахунок вивільнення ферменту, лактази та стимуляції вироблення кислоти, тим самим скорочуючи час ферментації. Ультразвукова обробка підвищує органолептичні властивості кисломолочних продуктів поряд з їх поживними якостями за рахунок збільшення біоактивних пептидів та олігосахаридів, зниження вмісту лактози [38].

УЗ також викликає скорочення часу, необхідного для дозрівання сиру, за рахунок вивільнення внутрішньоклітинних ферментів, прискорення руйнування білкової структури та покращення текстурних, органолептичних властивостей та поживних характеристик [39].

Було помічено, що застосування високоінтенсивного ультразвуку зменшує розмір жирових кульок при виробництві йогурту, покращує



в'язкість, зменшує синерезис, збільшує міцність гелю та прискорює ферментацію. Він також сприяє міцному і стабільному утворенню гелю за рахунок денатурації білків молочної сироватки, поділу міцел казеїну та рекомбінації білкової фракції для отримання більш щільної консистенції йогурту [19].

Олієжирова промисловість. Емульсії та жири, такі як майонез, заправки, вершки тощо, можна охарактеризувати ультразвуком низької інтенсивності. Ультразвук низької інтенсивності діє як потужний аналітичний метод для оцінки хімічних та фізичних властивостей, таких як вміст твердого жиру, вміст олії, твердість, кристалізація, склад олії та кристалізація [21, 40].

Ультразвук є ефективною альтернативою підвищення здатності емульгування. В даний час застосування ультразвуку є цікавою альтернативою для поліпшення емульгуючої здатності. Егорова та ін. [41], припустили, що індекси активності, стабільності та розчинності емульгування збільшуються після обробки ультразвуком.

Таким чином, представляючи ультразвук як інструмент покращення технофункціональних властивостей білків гороху. З іншого боку, [42] припустили, що емульгуюча активність і піноутворююча здатність підвищуються, проте швидкість адсорбції знижується через збільшення розміру частинок, що негативно впливає на емульгуючу активність. Альбано і Ніколетті [43] повідомили, що емульсія гірчичної олії, приготовлена за допомогою ультразвуку, показала постійну стабільність в умовах навколишнього середовища навіть після періоду зберігання 3 місяців без будь-якої помітної зміни поділу фракцій. Найменший розмір крапель та більша стабільність емульсії спостерігалися при амплітуді 40 % проти кремації порівняно з емульсіями, приготованими при амплітуді 20% та 30%.

При застосуванні ультразвуку частотою 20 кГц і потужністю 80 Вт/см² [21] повідомлялося про зміну показника емульгуючої активності та підвищення показника стабільності емульсії. Альбано та Ніколетті [43] помітили, що стабільність емульсії пектинової суміші та концентрату сироваткового білка підвищується при обробці ультразвуком і, таким чином, може застосовуватися в системах з низьким вмістом жиру.

Таким чином, загальна стабільність емульсії може бути підвищена за допомогою ультразвукової обробки.

Переваги і недоліки. Ультразвук — це технологія, яка успішно вдосконалила різні процеси в харчовій промисловості. Крім того, він є відмінною заміною деяким традиційним технологіям, заснованим з використанням тепла, які погіршують якість продукції. Ультразвук ефективно сприяє розм'якшенню та солінню м'яса, підвищенню щільності фруктів та овочів, кращому перемішуванню тіста, інактивації



мікробів, гомогенізації, стерилізації, пастеризації та емульгуванню.

УЗ призводить до отримання продукту вищої якості за більш низьких температур з покращеною швидкістю тепло- і масообміну. Ультразвук прискорює процес фільтрації, збільшує термін служби фільтра, прискорює заморожування і призводить до зменшення розміру кристалів, більш швидкого сушіння та розтавання. УЗ забезпечує швидко технологічну обробку з обмеженням собівартості продукції. Це підвищує ефективність процесу, усуваючи необхідність у етапах процесу та збільшуючи вихід продукту.

Крім того, покращується якість та чистота кінцевого продукту за рахунок покращення його органолептичних властивостей, твердості та текстури, що сприяє збереженню поживних властивостей продукту та збільшенню терміну придатності продукту.

Ультразвук за високої інтенсивності може виділяти тепло, що негативно впливає на органолептичні та поживні характеристики харчового продукту.

Крім того, ефективність ультразвуку проти мікробної та ферментативної інактивації не є повністю успішною. Однак синергетичний ефект поряд з температурою та тиском може спричинити інактивацію. Також, ультразвук високої потужності може надавати несприятливий фізичний та хімічний вплив на харчові продукти. Вільні радикали, що утворюються в результаті кавітації, призводять до окислення ліпідів, що супроводжується появою сторонніх присмаків та запахів, денатурації білків та зниження загального вмісту фенолів внаслідок розкладання аскорбінової кислоти. Синергетичне застосування ультразвуку з температурою та тиском також призводить до утворення вільних радикалів, що каталізують реакції, які можуть пошкодити структуру білка і тим самим несприятливо вплинути на текстуру харчового продукту. Таким чином, перед застосуванням необхідно оптимізувати інтенсивність та синергію ультразвуку.

Майбутні перспективи. За минулі роки кількістю проведених досліджень, науковцями доведено ефективність ультразвуку в заміні та покращенні різних традиційних методів обробки сировини в харчовій промисловості. Однак поєднання ультразвуку з іншими методами дає кращі результати щодо загальної якості кінцевого продукту та може стати предметом подальших досліджень.

Подальший розвиток застосування ультразвуку на промисловому рівні потребує оптимізації параметрів та більш глибоких досліджень аналізу впливу акустичної обробки на масове виробництво продуктів харчування. Дослідження у ширшому масштабі повинні також враховувати аспекти безпеки та несприятливий вплив ультразвуку на людину.



Також для комерціалізації та індустріалізації ультразвуку потрібна величезна кількість енергії, що перешкоджає його застосуванню в харчовій промисловості. Тому дослідження з впровадження та використання ультразвуку мають бути спеціально орієнтовані на реалізацію у промислових масштабах.

Висновки. Основна ідея реалізації ефектів, які спостерігаються при ультразвуковому впливі в харчовій промисловості, полягає в тому, що ефекти кавітації викликають зміни функціонально-технологічних властивостей рідких харчових систем (хімічних, технологічних, фізичних, органолептичних і т. д.), що сприяє досягненню певного технологічного ефекту.

Ультразвук довів свої можливості у харчовій промисловості для збереження, вилучення та обробки. УЗ все частіше використовується для поліпшення різних процесів у харчовій промисловості та став надзвичайно багатообіцяючою технологією в галузі обробки. Він стає потужнішим при використанні у поєднанні з іншими методами збереження продуктів харчування та має низку переваг у порівнянні з іншими раніше існуючими або традиційними технологіями. УЗ з його властивостями підвищувати ефективність та скорочувати час, необхідний для різних операцій обробки та обіцяє прогресивне майбутнє.

Список використаних джерел

1. Мирошник Д. и др. Вплив ультразвукової кавітації на життєдіяльність мікроорганізмів. Інновації молоді в машинобудуванні. 2020. №. 2. С. 366–370.

2. Misra N. N., Schlüter O., Cullen P. J. (ed.). Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, 2016.

3. Льїн С. В., Іванісова А. П. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки. № 6/1 (27) червень 2019 р. С. 36–38.

4. Condón-Abanto S., Arroyo C., Álvarez I., Condón S., Lyng J. G. Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). Int. J. Food Microbiol., 223. 2016. Pp. 9–16.

5. Arvanitoyannis I. S., Kotsanopoulos K. V., Savva A. G. Use of ultrasounds in the food industry—methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: a review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 57 (1). 2017. Pp. 109–128.

6. Belwal T., Cravotto G., Luo Z. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. Ultrason. Sonochem. 60. 2020. p. 104726.

7. Alarcon-Rojo A. D., Carrillo-Lopez L. M., Reyes-Villagrana R., Huerta-Jiménez M., Garcia-Galicia I.A. Ultrasound and meat quality: a



review. *Ultrason. Sonochem.* 55. 2019. Pp. 369–382.

8. Peña-González M., Alarcón-Rojo A.D., Rentería A., García I., Santellano E., Quintero A., Luna L. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef *Ital. J. Food Sci.* 2017. 29 (3).

9. Cárcel J. A., Benedito J., Bon J., Mulet A. High intensity ultrasound effects on meat brining *Meat Sci.*,76(4). 2007. Pp. 611–619.

10. Кононенко А. О., Бородай А. Б. Удосконалення технології виробів із м'яса за рахунок використання ультразвуку. Полтава: ПУЕТ. 2020, С. 467–469.

11. Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М. Хорольський В. П. Удосконалення систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників. *Хмельницького національного університету.* 2022. С. 247–255.

12. Caraveo O., Alarcon-Rojo A. D., Renteria A., Santellano E., Paniwnyk L. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4°C *J. Sci. Food Agric.*, 95 (12). 2015. Pp. 2487–2493.

13. Wang A., Kang D., Zhang W., Zhang C., Zou Y., Zhou G. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound *Food Chem.*, 245. 2018. Pp.724–730.

14. Ojha K. S., Aznar R., Donnell C. O., Tiwari B. K. Ultrasound technology for the extraction of biologically active molecules from plant, animal and marine sources *TrAC, Trends Anal. Chem.* 122. 2020., p. 115663.

15. Kuo F. J., Sheng C. T., Ting C. H. Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. *J. Food Eng.* 86 (1). 2008. Pp. 84–90.

16. Chen F., Zhang M., Yang C. H. Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: a review. *Ultrason. Sonochem.* 104953. 2019.

17. Zhu F., Li H. Modification of quinoa flour functionality using ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 52. 2019. Pp. 305–310.

18. Fox P., Smith P. P., Sahi S. Ultrasound measurements to monitor the specific gravity of food batters. *J. Food Eng.* 65. (3). 2004. Pp. 317–324.

19. Akdeniz A. S. Akalın. New approach for yoghurt and ice cream production: high-intensity ultrasound. *Trends Food Sci. Technol.* 86. 2019. Pp. 392–398.

20. Guimarães J. T., Balthazar C. F., Scudino H., Pimentel T. C., Esmerino E. A., Ashokkumar M., et al. High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products. *Ultrason. Sonochem.* 57. 2019. Pp.12–21.



21. Zhu Z., Zhu W., Yi J., Liu N., Cao Y., Lu J., McClements D.J. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. *Food Res. Int.* 106. 2018., Pp. 853–861.
22. Carpenter J., Saharan V. K. Ultrasonic assisted formation and stability of mustard oil in water nanoemulsion: effect of process parameters and their optimization. *Ultrason. Sonochem.* 35. 2017. Pp. 422–430.
23. González E. M., Alarcón-Rojo A. D., Rentería A., García I., Santellano E., Quintero A., Luna L. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef Ital. *J. Food Sci.* 29 (3). 2017.
24. Chang H. J., Wang Q., Tang C. H., Zhou G. H. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle. *J. Food Qual.* 38 (4). 2015. Pp. 256–267.
25. Barekat S., Soltanizadeh N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle *Food Bioprocess Technol.* 11 (3). 2018. Pp. 680–693.
26. Kang D. C., Wang A. R., Zhou G. H., Zhang W. G., Xu S. M., Guo G.P. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 35. 2016. Pp. 36–44.
27. Li D., Zhao H., Muhammad A. I., Song L., Guo M., Liu D. The comparison of ultrasound-assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets. *Food Chem.* 126614. 2020.
28. Nicolau-Lapeña I., Lafarga T., Viñas I., Abadias M., Bobo G., Aguiló-Aguayo I. Ultrasound processing alone or in combination with other chemical or physical treatments as a safety and quality preservation strategy of fresh and processed fruits and vegetables: a review. *Food Bioprocess Technol.* 2019. Pp. 1–20.
29. Mizrach A. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre-and postharvest processes *Postharvest Biol. Technol.* 48 (3). 2008. Pp. 315–330.
30. Azam R., Ma H., Xu B., Devi S., Siddique M. A. B., Stanley S.L., et al. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: a review *Trends Food Sci. Technol.* 97. 2020. Pp. 417–432.
31. Ross K. A., Pyrak-Nolte L. J., Campanella O. H. The use of ultrasound and shear oscillatory tests to characterize the effect of mixing time on the rheological properties of dough *Food Res. Int.* 37. (6). 2004. Pp. 567–577.
32. Elmehdi H. M., Page J. H., Scanlon M. G. Using ultrasound to investigate the cellular structure of bread crumb *J. Cereal Sci.* 38. (1). 2003. Pp. 33–42.
33. Мирошник Ю. А., Доценко В. Ф., Гончарова Н. Е. Дослідження



можливості використання ультразвуку в технології борошняних кондитерських виробів для закладів ресторанного господарства. 2019.

34. Jalali Z. Sheikholeslami A. H., Elhamirad M. H. H., Khodaparast M, Karimi. The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. *J. Food Sci. Technol.*, 57 (3), 2020, Pp. 993–1002.

35. Богомолов О. В., Гурський П. В., Іващенко С. Г., Токолов Ю. І. Дослідження впливу ультразвуку на тиск пресування макаронного тіста. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*, Вип. 207 «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». 2019. С. 80–87.

36. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Шеїна А. В. Ідентифікація процесу приготування тіста в полі ультразвукових коливань. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2018. С. 115–123.

37. Salazar J., Turó A., Chávez J.A., García M. J. Ultrasonic inspection of batters for on-line process monitoring *Ultrasonics*, 42. (1–9). 2004. Pp. 155–159.

38. Яремчук О. С., Новгородська Н. В. Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів // *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 4 (103). С. 90–98.

39. Хорольський В. П. и др. Ультразвуковые технологии в системе интеллектуального управления производством сыра. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. №. 1 (38). С. 67–78.

40. Запорожан Е. А., Егорова Е. Ю., Цыганок С. Н. Влияние параметров ультразвуковой обработки на дисперсность жировых капель в эмульсиях типа "растительное молоко". *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности*. 2019. С. 614–618.

41. Егорова Е. Ю., Цыганок С. Н., Акинфеева А. В. Эффективность применения ультразвука при получении "кедрового молока" и "кедровых сливок". *Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях*. 2019. С. 118–123.

42. Xiong W., Xiong Ge M., Xia J., Li B., Chen Y. Effect of high intensity ultrasound on structure and foaming properties of pea protein isolate. *Food Res. Int.* 109. 2018. Pp. 260–267.

43. Albano K. M., Nicoletti V. R. Ultrasound impact on whey protein concentrate-pectin complexes and in the O/W emulsions with low oil soybean content stabilization. *Ultrason. Sonochem.* 41. 2018. Pp. 562–571.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2022 р.

L. Kryzhak

**Vinnytsia Trade and Economic Institute of DTEU****ULTRASONIC TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY*****Summary***

Food processing plays a crucial role in solving food security problems by reducing losses and preventing spoilage. Ultrasound is a new promising technology in the food industry that increases the speed and efficiency of several processes simultaneously.

Ultrasonic technology has revolutionized the food industry due to its widespread use in various processes, and is a good alternative compared to others. This technology has several advantages, such as process speed, increased process efficiency, obtaining high product quality and preserving the properties of the product (consistency, nutritional value, organoleptic properties), increasing the shelf life.

The main idea of the effects observed in the ultrasonic industry in the food industry is that the effects of cavitation cause changes in the functional and technological properties of liquid food systems (chemical, technological, physical, organoleptic, etc.), which contributes to a certain technological effect.

Ultrasonic has proven its potential in the food industry for storage, extraction and processing. It is being used to improve various processes in the food industry increasingly and has become an extremely promising processing technology. It becomes more powerful when it used in combination with other food preservation methods and has a number of advantages over other pre-existing or traditional technologies. UZ with its properties to increase efficiency and reduce the time is required for various processing operations and promises a progressive future.

The review article summarizes the use of ultrasonic in specific areas of the food industry, as well as the advantages and disadvantages of ultrasonic technology. Further scales of industrial application of ultrasonic are also substantiated.

Key words: ultrasonic, ultrasonic processing, technological process, food industry, functional-technological properties.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-16

УДК 663:664.8.037.1

В. Г. Тарасенко, к.т.н. доц.

ORCID: 0000-0002-0275-0281

Н. О. Фучаджи, к.т.н. ст. викл.

ORCID: 0000-0001-9433-6282

О. О. Червоткіна, асистент

ORCID: 0000-0002-6814-0566

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: vera.tarasenko@tsatu.edu.ua, тел.: 0977144992

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ОХОЛОДЖЕННЯ НАПОЇВ

Анотація. В харчовій промисловості широко застосовуються установки для охолодження, заморожування напівфабрикатів та готової продукції. Прикладами застосування обладнання для охолодження води являються охолодження молока, вина, пива, алкогольних та безалкогольних напоїв, цукеркової маси, ковбасних виробів після термообробки тощо. Стаття присвячена удосконаленню технології охолодження напоїв і наведено варіант вдосконалення способу з використанням плівкового теплообмінника швидкого охолодження для продажу фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

Ключові слова. Спосіб охолодження напоїв, плівковий охолоджувач напоїв, ефективність теплообміну, яблучний сік.

Постановка проблеми. Останнім часом пошук нових напрямків розробки охолоджувачів напоїв, що відповідають сучасному рівню розвитку харчової промисловості є досить актуальним. Одним з таких напрямків є створення технології швидкісного охолодження [1, 2]. Ефективним способом охолодження напоїв є плівковий теплообмін, який дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання. [3,4,5,6,7].

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

При звичайному охолодженні напоїв їх наливають в ємності, для



прискорення процесу використовують мішалки. Недоліком цього способу є тривалий час очікування. В апаратах іншого типу напій пропускають крізь зміювик, що скорочує час очікування, однак різко погіршує якість санітарно-гігієнічної обробки обладнання, крім того, виникає небажана мікрофлора, пригнічується дія ферментів, що різко знижує біологічну цінність соку або іншого напою.

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

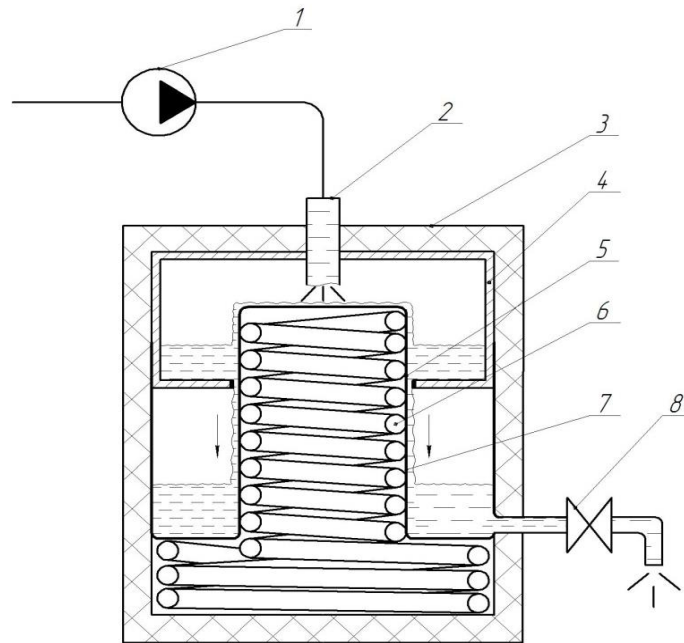
Формування мети статті. Аналіз процесу теплообміну в охолоджувачах напоїв і способів швидкого зниження температури в охолоджувачах напоїв проточного типу для фруктових, овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

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

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

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

Принцип дії пропонованого пристрою полягає в наступному. Напій, який необхідно охолодити, насосом 1 через трубу 2 для подачі напою, подається у встановлену в теплоізольованому резервуарі 3, верхню кільцеву камеру 4 для напою. У верхній кільцевій камері 4, яка охоплює циліндричну оболонку 7 зміювика 6 випарника холодильної машини, підтримується постійний рівень напою вище верхньої кришки циліндричної оболонки 7 [9].



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

Рисунок 1. Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв

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

В якості охолоджувальної рідини, для прикладу, виберемо яблучний сік. Температура яблучного соку: на вході $t_1 = 35$ °С, на виході $t_2 = 20$ °С. Витрата яблучного соку $G_c = 31$ кг / год або 0,52 л / хв. Питома теплоємність яблучного соку $c = 3,2$ кДж/(кг·К). Щільність яблучного соку $\rho = 1051$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності яблучного соку $\lambda = 0,554$ Вт/(м·К) [10].

Теплове навантаження для відводу теплоти від охолоджуваного яблучного соку

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

Питома холодопродуктивність установки

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

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

Тепловий баланс плівкового охолоджувача:

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

З виразу теплового балансу отримуємо значення витрати охолоджувача

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



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

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

Розрахуємо поверхню теплообміну:

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

де: F – площа поверхні теплообміну, м²;

$Q_{\text{охл}}$ – витрата теплоти, Дж/с;

k – коефіцієнт теплопередачі, Дж / (с·м²·К);

Δt – різниця температур, К;

τ – час охолодження, с.

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

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

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою

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

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

Критерій Рейнольдса для потоку яблучного соку:

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

де $\rho_{\text{я.с.}}$ – щільність яблучного соку, 1051 кг / м³;

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

За значенням критерію Рейнольдса визначаємо критерій Прандтля і критерій Нусельта:

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

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

Звідси, знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного



соку до стінки α_1 знаходимо за спрощеною формулою для плівкового випарника:

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої рідини α_2

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

Коефіцієнт теплопередачі визначасмо за формулою (7):

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

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

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

Висота циліндричної оболонки змійовика випарника холодильної машини

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

Висновок. Аналіз рівняння (8) показує, що для плівкового випарника коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки на порядок вище, ніж при об'ємній теплопередачі від соку до охолоджуючої рідини, тому доцільно використовувати охолоджувачі напоїв пропонованого типу. Методика визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу може бути використана при проектуванні обладнання.

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

Список використаних джерел

1. Skrupskis A., Gross U. Foodbalt-Proceedings-2008. 2008. P. 79–83.
2. Стручаєв М. І., Загорко Н.П. Формування заморожених соків. *Праці ТДАТУ*. ТДАТУ. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 1: С. 246–252.
3. Aboltins A., Boca S., Galoburda R. Heat-Mass Transfer in Layer of Berries During Freezing Process. *Refrigeration for Sustainable Development. Book of Abstracts* 2011.



4. Ялпачик В. Ф., Тарасенко В. Г. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17, т.1. С.113–118.
5. Постол Ю. О. Підвищення енергоефективності охолоджувача молока. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2017. Вип. 7, т. 1. С. 243–247.
6. Стручасєв М. І., Змєєва І. М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2013. Вип.13, т.7. С. 21–27.
7. Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки / Пер. С нем. Ф. И. Шубич. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 472 с.
8. Охолоджувач напоїв: пат. на кор. модель 129465 Україна : МПК А47J 31/50 (2006.01). № u201806145; заявл. 01.06.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.
9. Патент на корисну модель № 134351 Україна МПК (2006) А01J 9/04, В67D 3/00 (2006.01) Поточний охолоджувальний пристрій / Кюрчев С. В., Тарасенко В. Г., Бондар Д. В., Заявл. 17.12.2018, Опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9.
10. Тарасенко В. Г., Бондар Д. В. Плівковий охолоджувач. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 2. С. 48–54.
11. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. *Theory, practice and science*. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255–257.
12. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. *Multidisciplinary academic research*. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83–86.
13. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference*. 2017. P. 155–158
14. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education*: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. P. 231–233.
15. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). P. 7–12.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2022 р.



**V. Tarasenko, N. Fuchadzy, O. Chervotkina
Dmytro Motorny Tavriya State Agrotechnological University**

IMPROVEMENT IN THE WAY BEVERAGES ARE COOLED

Summary

In the food industry, installations for cooling, freezing semi-finished products and finished products are widely used. Examples of applications for water cooling equipment are the cooling of milk, wine, beer, alcoholic and non-alcoholic beverages, candy mass, sausages after heat treatment. The article is devoted to the improvement of the beverage cooling technology and a variant of the method improvement using a rapid cooling film heat exchanger for the sale of fruit, vegetable, fruit and vegetable juices and other drinks, such as beer, kvass, lemonade.

More and more popular are restaurants and swedish eating places, in which they serve not only hot drinks, such as tea, kava, but also cold drinks, as if cooked in cold drinks for fruit, vegetable and fruit juices and other drinks such as beer, lemon, . At the present time, we are afraid of cycling to reach the end of the creation of the technology of swedish, flow-through cooling of the water.

The aim of the article is to improve the method of cooling beverages using rapid temperature reduction of juices, which by introducing new structural elements simplifies the design, eliminates intermediate coolant, increases heat transfer efficiency, increases efficiency and reliability of the installation as a whole, simplifies sanitation .

The method of determining the criteria of film heat transfer and the main design parameters of the instantaneous beverage cooler can be used in the design of equipment.

An option to improve the method of preparation of beverages for sale using a film evaporator for rapid cooling of fruit, vegetable, fruit and vegetable juices and other beverages such as beer, kvass, lemonade, for example apple juice cooling and instantaneous beverage cooler devices are practical and can be used in production.

Key words: method of beverage cooling, film beverage cooler, heat transfer efficiency, apple juice.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-17

УДК 640.432:640.45(045)

О. В. Пахомська, асистент

ORCID: 0000-0002-0915-8811

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: olana1980@ukr.net, тел.: (098)78-78-853

ІСТОРИЯ РОЗВИТКУ КЕЙТЕРИНГ ІНДУСТРІЇ – ВІД МИНУЛОГО В МАЙБУТНЄ

Анотація. У статті досліджено історичний розвиток кейтеринг індустрії та досліджено сучасні особливості кейтерингу, як нового напрямку ресторанного бізнесу в Україні. Доведено, що кейтерингові послуги дають змогу забезпечити широкий спектр послуг ресторану і є одним із найбільш динамічних секторів ресторанного бізнесу в Україні.

Світовий ринок кейтеринг-індустрії почав активно розвиватися в США на початку ХХ століття, під час масштабного будівництва хмарочосів, для організації харчування численних робітників. Одночасно ідея отримала швидке поширення як спосіб забезпечення харчування співробітників великих промислових підприємств і офісних працівників бізнес-центрів США і Європи з метою більш ефективної організації робочого дня.

Останнім часом в Україні намітилася стійка тенденція переміщення послуг з організації споживання продукції та обслуговування споживачів із залів закладів ресторанного господарства до робочих місць (офіси, установи), місць відпочинку, місць святкування ювілеїв та інших офіційних та неофіційних святкових подій, до домівки. Послугу з “кейтерингу” здійснюють не тільки заклади ресторанного бізнесу (ресторани, кафе, бари), а також і фірми, які створені на базах ресторанів.

На сьогодні розрізняють такі основні види кейтерингу: виготовлення страв у ресторані; поза підприємством (виїзне ресторанне обслуговування); контракт на поставку (доставка у офіси, на підприємства та ін.).

Кількість кейтерів у нашій країні з кожним роком збільшується. Вітчизняні кейтерингові фірми поділяються на дві групи: ті, що працюють при ресторані, і самостійні. Практично всі ресторани мережі мають власні кейтерингові агенції. Виїзним обслуговуванням займаються навіть збиткові ресторани, які у такий спосіб намагаються врятувати бізнес. Лідером українського ринку кейтерингу в даний час є французька компанія Sodexo. Також серед лідерів слід зазначити



кейтерингові компанії: “Єврокейтерінг”, “Диліжанс”, “Джем кейтеринг” “VIP кейтеринг”. Український ринок кейтерингу переважно сконцентрований у Києві.

Послуги з кейтерингу в Україні швидко розвиваються та удосконалюють свої прийоми роботи із замовниками, розширюючи перелік послуг. Кейтеринг являє собою високоприбутковий та перспективний вид діяльності для ресторанів, які планують організувати послуги постійно, а не періодично з метою долучити додатковий дохід для закладу.

Ключові слова: виїзне обслуговування, індустрія харчування, ресторанний бізнес, VIP-кейтеринг, послуги харчування.

Постановка проблеми. Індустрія гостинності в Україні набуває динамічного розвитку та відноситься до однієї з прибуткових сфер економіки держави. Специфіка ресторанного бізнесу як галузі сфери послуг передбачає під новітніми (інноваційними) технологіями не тільки поліпшення якості життя людей, красиво і смачно приготовленої їжі, а й упровадження інноваційних технологій господарювання в галузі та облік необхідності комерціалізації інноваційних розробок.

У ресторанному бізнесі з'являються сучасні інновації: послуги сомельє, гастрономічні шоу, урочиста презентація страв, відкрита кухня, бар-шоу, рибалка та кулінарне приготування у присутності гостя, караоке, екологічні страви, електронне меню, виїзний кейтеринг з організацією дозвілля та широким спектром різноманітних послуг, комп'ютерні технології тощо[5].

Останніми роками поширилася тенденція переміщення послуг з організації харчування та обслуговування із залів закладів ресторанного господарства до робочих місць (офіси, установи), місць відпочинку, місць святкування ювілеїв та інших офіційних та неофіційних святкових подій, до домівки. Ця послуга має назву у міжнародній індустрії гостинності “catering”. Послугу з “кейтерингу” здійснюють не тільки заклади ресторанного бізнесу (ресторани, кафе, бари), а також і фірми, які створені на базах ресторанів.

Аналіз останніх досліджень. Окремі аспекти розвитку кейтерингу як форми ресторанного бізнесу висвітлювалися у працях В. Архіпов, В. Гребенюк, К. Погодін, Н. Прилепа Н. П'ятницька, К. Радіонова, А. Смирнов, Франсін Халворсен. Разом з тим існує ряд питань, які потребують додаткового вивчення, зокрема особливостей його становлення та перспектив його подальшого розвитку.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження історичного розвитку кейтерингу, як форми виїзного ресторанного обслуговування та встановлення його, як інноваційної форми ресторанного бізнесу.



Основна частина. Слово «кейтеринг» походить від англійського дієслова «cater», що в перекладі означає «поставляти провізію», «обслуговувати споживачів», та словосполучень «publice catering» – ресторанне господарство, а також «catering trade» – ресторанний бізнес [5]. Суть кейтерингового обслуговування полягає в тому, що ресторан за спеціальними замовленнями (кейтерингова компанія) забезпечує замовнику приготування і доставку готової продукції ресторанного господарства у зазначене місце (додому, в офіс, на робоче місце, в місце відпочинку тощо), а також ресторанне обслуговування святкового заходу з наданням різних сервісних послуг.

Поняття «кейтеринг» згадується в ДСТУ 4281:2004 «Заклади ресторанного господарства. Класифікація». У стандарті кейтеринг включено до групи 4.4 «Постачання їжі, приготованої централізовано, для споживання в інших місцях», яка охоплює такі види підприємств ресторанного господарства, як 4.4.1 (фабрика-заготівельня), 4.4.2 (фабрика-кухня), 4.4.3 (домова кухня), 4.4.4 (ресторан за спеціальними замовленнями (catering)). У стандарті ресторан за спеціальними замовленнями (catering) трактується як заклад ресторанного господарства, призначений готувати і постачати готову їжу та організовувати обслуговування споживачів в інших місцях за спеціальними замовленнями [6]. Також у стандарті зазначено, що такі заклади можуть обслуговувати банкети, фірмові прийоми, ділові зустрічі, весілля та інші свята у залах, офісах, на природі, під тентами тощо. Таким чином, у стандарті кейтеринг визначено як окремий вид підприємства ресторанного господарства, а не як додаткову послугу закладу [3].

Кейтеринг, незважаючи на свою довгу історію, з'явився в нашій країні порівняно недавно. Перші виїзні банкети організовувалися ще в XVII столітті у Франції. У той час правив країною Людовик Великий. Він регулярно дивував своїх гостей незвично оформленими і смачними стравами. Все це досягалося завдяки невгасаючій фантазії талановитого кухаря Жана-Франсуа Вітелія. З відходом з життя Короля-Сонця виїзні банкети стали забути.

Світовий ринок кейтеринг-індустрії почав активно розвиватися в США на початку XX століття, під час масштабного будівництва хмарочосів, для організації харчування численних робітників. Одночасно ідея отримала швидке поширення як спосіб забезпечення харчування співробітників великих промислових підприємств і офісних працівників бізнес-центрів США і Європи з метою більш ефективної організації робочого дня [7].

Поступово виїзні банкети набули поширення і в інших державах. У нашій країні кейтеринг з'явився в дев'яності роки минулого століття. Спочатку він був простим. Але економічна криза в 1998 році внесла



свої зміни. Обслуговування клієнтів на виїзді отримало велику популярність. На початку ХХІ століття послугами кейтеринг-компаній стали активно користуватися на території пострадянського простору. В Америці і європейських країнах цей бізнес затребуваний вже дуже давно. Йшов час, і в сфері ресторанного бізнесу з'являлося все більше кейтеринг-компаній.

Одна з них корпорація «Compass Group» (Великобританія) - по всьому світу надає послуги VIP-кейтерингу, здійснює організацію харчування в аеропортах та організацію соціального харчування[10].

Другий за величиною лідер світової кейтеринг індустрії - міжнародна група "Sodexo" (Франція) налічує більше 380000 співробітників, що працюють на 33900 об'єктах в 80 країнах світу. Sodexo надає послуги з організації харчування для різних галузей бізнесу, включаючи промисловість, віддалені об'єкти, медичні та освітні установи, виправні заклади, будинки престарілих[9].

Сьогодні, кейтеринг як новий напрям ресторанного бізнесу в Україні зарекомендував себе як високоприбутковий і відкриває широкі перспективи для тих, хто планує займатися ним на перспективу.

Кількість реєстрів в Україні з кожним роком збільшується. Вітчизняні кейтерингові фірми поділяються на дві групи: ті, що працюють при ресторані, і самостійні. Практично всі ресторани мережі мають власні кейтерингові агенції. Лідером українського ринку кейтерингу в даний час є французька компанія Sodexo. Також серед лідерів слід зазначити кейтерингові компанії: «Єврокейтеринг», «Диліжанс», «Джем кейтеринг» «VIP кейтеринг», «Confetti events&catering», «Гетьман фуршет», «Знак якості», «Фігаро кейтеринг», «Best EVENT Catering», «Оріон-кейтеринг», «LF Catering», «Magic fountain», «Стелс-Україна» та інші, а у Вінниці «Сіті», «Кактус», «Щастя є» стають все більше популярними[2].

Український ринок кейтерингу переважно сконцентрований у Києві.

Презентація кейтерингової індустрії зображено на рисунку.

У світовій практиці виділяють види кейтерингу:

1. Кейтеринг у приміщенні (стаціонарне обслуговування) передбачає, що підприємець володіє або орендує приміщення. Цей вид бізнесу застосовується при організації щоденного харчування підприємств, компаній, офісних центрів.. До обслуговування в приміщеннях відносять й організацію заходів (банкетів, презентацій тощо) на базі закладу харчування, яке на відміну від звичайного ресторану, що працює протягом певних годин, відкрите тільки на час банкетів.



Рисунок 1. Презентація кейтерингової індустрії

2. Кейтеринг поза приміщенням, що відноситься до найдинамічніших видів харчування, передбачає, що у підприємства є окремі пункти з приготування харчових продуктів, звідки приготовлена їжа доставляється в місце, яке визначає клієнт. Прикладами даного виду кейтерингу є доставка обідів у офіси, організація барбекю, вишуканих вечерів, шкільних випускних вечорів тощо. Їжу доставляють або в одноразовому посуді з поліпропілену, або в термобоксах.

3. Індивідуальний (соціальний) кейтеринг – належить до найпростіших його видів, коли приготування страв виконується в приміщенні замовника та під його контролем, включаючи прибирання приміщення. В цьому сегменті кейтерингу фірми працюють, не витрачаючи фінансові засоби на будівництво чи оренду приміщень та придбання устаткування, що важливо для підприємців – початківців у цьому бізнесі. Види його застосування – це соціальні сфери, такі як дитячі садки та школи, лікарні, транспорт і багато іншого.

4. Роз'їзний кейтеринг – у багатьох випадках це частина більш значного підприємницького проекту в харчуванні. За цієї форми обслуговування напівфабрикати, що доставляються з підприємства, проходять на місці кінцеву обробку та продаються. Прикладом подібного виду кейтерингу є торгівля з автомобілю.

5. Роздрібний продаж – це продаж продуктів на стадіонах, у кінотеатрах та інших приміщеннях з великим скупченням людей. Цей вид кейтерингу, як й інші, також передбачає поєднання його виробничої (виготовлення продукції) транспортної (доставка в місця



продажу) та торгівельної (реалізація) складників.

6. VIP-кейтеринг передбачає виїзне ресторанне обслуговування із залученням високо кваліфікованих кухарів, офіціантів, барменів. У приміщенні замовника і під його наглядом здійснюється попередня обробка продуктів і приготування страв. Включені виїзні роботи з замовником в тривале турне. Цей вид обслуговування має на увазі найвищу кваліфікацію обслуговуючого персоналу і мінімальні витрати на організацію заходу часу замовника.

7. Кейтеринг напоїв та коктейлів (виїзний бар) – процес, що передбачає присутність бармена, а також його помічників і офіціантів. І, природно, всього того обладнання, яке необхідне бармену для якісного приготування, оформлення та подачі напоїв[8].

Кейтеринг в Україні тільки починає розвиватися і знаходить вираз, приміром, у доставці піци замовникам (це приклад кейтерингу поза приміщенням). Додому до клієнта для святкування дня народження можна замовити повара, офіціанта, які організують свято не гірше, ніж у ресторані.

За повнотою наданих послуг кейтерингове обслуговування поділяється на:

- кейтерингове обслуговування готовими продуктами харчування (вид виїзного обслуговування, при якому ресторан за спеціальними замовленнями бере на себе зобов'язання у виробництві та доставці страв, але не бере участі в обслуговуванні безпосередньо на місці);

- повносервісне (вид виїзного обслуговування, при якому ресторан за спеціальними замовленнями або кейтерингова компанія повністю бере на себе зобов'язання організації замовлення: розробку сценарію проведення свята, складання меню, приготування страв та напоїв, їх доставку на місце «призначення, обслуговування споживачів на рівні ресторанного сервісу, звершення роботи на місці проведення банкету.

Залежно від виду заходів та фінансових можливостей замовника кейтерингова компанія може запропонувати асортимент послуг, перелік яких наведено в таблиці 1 [4].

Необхідно зазначити, що існують чотири групи споживачів кейтерингового обслуговування.

До першої групи належать корпоративні замовники – компанії, які проводять презентації, конференції з наступним фуршетом, а також корпоративні свята і вечірки. Кейтерингове обслуговування є альтернативою організації заходу в ресторані, якщо подібна акція має масштабний характер і проведення її є проблематичним через недостатню кількість місць.

Друга група замовників – громадські організації, які проводять семінари, конференції, благодійні заходи тощо.

Таблиця 1



Види заходів та асортимент кейтеринг-послуг

Назва заходу	Характеристика послуг
Корпоративні свята, ювілеї фірм	Фуршетне меню. Встановлення звукового та світлового обладнання. Організація шоу-програми Запрошення музичного гурту, артистів, ведучого. Оформлення приміщення. Організація обслуговування. Спецефекти.
Фуршети після семінарів, виставок, презентацій	Фуршетне меню. Оформлення столів. Організація обслуговування.
Приватні свята	Банкетне меню. Запрошення ведучого вечора. Встановлення звукового та світлового обладнання. Організація розважальної програми. Оформлення приміщення. Організація обслуговування. Спецефекти. Спеціальне весільне банкетне меню. Відповідне оформлення приміщення. Організація обслуговування. Розробка індивідуального сценарію.
Весілля	Послуги ведучого вечора та артистів. Встановлення звукового та світлового обладнання для дискотеки. Спеціальні ефекти та сюрпризи тощо.

Третя група – приватні особи, які влаштовують сімейні свята (дні народження, весілля, ювілеї та ін.) у себе вдома або в іншому місці. Четверта група – певні колективи, які вважають за необхідне організувати для своїх працівників комплексні обіди (сніданки, вечери)[1].

За контингентом замовників кейтерингове обслуговування розраховане на чотири основні групи споживачів та представлені в таблиці 2.

Кейтерингове обслуговування класифікується за різними ознаками: за контингентом замовників, за місцем проведення заходу, за повнотою циклу або характером наданих послуг.

За контингентом замовників кейтерингове обслуговування розраховане на чотири основні групи споживачів:

- корпоративні замовники (обслуговування ділових зустрічей, презентацій, конференцій (з наступним фуршетом), семінарів, корпоративних вечірок);
- громадські організації (обслуговування семінарів, зборів, благодійних банкетів, випускних балів тощо);



Таблиця 2

Основні групи споживачів кейтерингового обслуговування

Групи споживачів	Контингент споживачів	Об'єкт кейтерингового обслуговування
Корпоративні замовники	Фірми, установи, підприємства, посольства	Ділові зустрічі, презентації, конференції, семінари, корпоративні вечірки
Громадські організації	Спілки, комітети, асоціації, шкільні та батьківські комітети, асоціації випускників	Семінари, збори, благодійні бенкети, випускні бали тощо
Індивідуальні замовники	Приватні особи	Сімейні свята: дні народження, ювілеї, весілля тощо
Колективи установ, підприємств, навчальних закладів	Робітники, службовці, студенти тощо	Комплексні обід, сніданок, полуденок, вечеря

- індивідуальні замовники (обслуговування сімейних свят);
- колективи установ, підприємств, навчальних закладів (комплексні обіди, сніданки, вечері)[6].

За місцем проведення заходу кейтерингові обслуговування підрозділяються на:

- ті, що проводяться в приміщенні, - офісі, вдома, будинку культури, на території виставкового центру, бізнес-центру, планетарію, музею тощо;

- ті, що проводяться на лоні природи, - на галявині лісу, в береговій зоні тощо;

- ті, що проводяться на транспорті, - на прогулянкових катерах, теплоходах, авіа- та автомобільному транспорті[12].

Виходячи з дослідження, можна виділити перспективні напрями розвитку кейтерингової індустрії:

- розширення асортименту страв у меню з урахуванням потреб споживачів у здоровому харчуванні, вживанням низькокалорійної їжі за релігійними особливостями;

- сприяння інноваційних тенденцій на ринку кейтерингу, зокрема стимулювання розвитку «екологічного кейтерингу».

За характеристикою кейтерингові послуги поділяються на основні та додаткові.



- до основних кейтерингових послуг належать: приготування та доставка продукції ресторанного господарства, послуги офіціантів в обслуговуванні.

- до додаткових: організація культурного дозвілля та дизайнерська робота при оформленні приміщень, де буде проводитись замовлений банкет, прибирання приміщення після банкету тощо. Ресторан за спеціальними замовленнями виконує роль посередника або повністю бере на себе забезпечення основних і додаткових послуг[11].

У першому випадку організатор кейтерингового обслуговування дає зацікавленим замовникам координати декількох музичних гуртів, ведучих вечорів, клоунів, дизайнерів, флористів, фірм, що займаються прокатом теплоходів, весільних аксесуарів тощо. У другому випадку вони особисто можуть домовлятися про умови надання додаткових послуг і їх оплату, позбавивши замовника від зайвих турбот.

Висновки. Отже, кейтеринг, або виїзне ресторанне обслуговування, нині є одним із найбільш перспективних ринків ресторанного бізнесу в Україні. Сучасні ресторани пропонують не лише смачну їжу, вони торгують послугами, зручностями, доброзичливою атмосферою, відпочинком, обстановкою, романтикою, мріями, адреналіном.

Крім того, важливе значення має не лише постачання їжі, а й організація відповідних масових заходів. Тому, розвиток кейтерингової індустрії в Україні передбачає появу нових тенденцій, цікавих інноваційних розробок, удосконалюючись та підкоряючись економічним законам попиту і пропозиції, а також конкуренції за споживача.

Перспективним напрямком подальших досліджень є детальне вивчення переваг та недоліків ведення кейтерингової індустрії та продаж на міжнародному ринку кейтерингових послуг.

Список використаних джерел

1. Горшкова Л. О. Особливості кейтерингу в організації мобільного ресторанного обслуговування. Проблеми системного підходу в економіці. 2017 № 6(62), С.134–138.
2. Довідка про кейтерингові компанії м. Києва. URL: http://lasoon.com.ua/ukr/kiev/restaurantsall?id_cat_global%5B%5D=13&sort=0&logic=0 (дата звернення 01.05.2022.)
3. Заклади ресторанного господарства. Класифікація: ДСТУ 4281:2004. [Чинний від 2004-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 18 с. (Національний стандарт України).
4. Івашина Л. Л. Перспективи та проблеми кейтерингу в Україні. Глобальні та національні проблеми економіки. Випуск 17. 2017. С. 314–317.



5. Прилепа Н. В. Особливості розвитку кейтерингу як інноваційної форми ресторанного бізнесу. Вісник Хмельницького національного університету 2014. № 5. Т. 2. С. 91–94

6. Панасюк Н. В. Украинский рынок кейтеринга активно развивается.

URL:<http://cateringconhttp://cateringconsulting.ru/publications/ukrainskiy-rynok-keyteringa-aktivno-razvivaetsya>. (дата звернення 02.05.2022.)

7. Kearns Cristin E. Sugar Industry and Coronary Heart Disease Research. A Historical Analysis of Internal Industry Documents [Електронний ресурс] / Cristin E. Kearns, Laura A. Schmidt, Stanton A. Glantz // JAMA Internal Medicine. 2016. URL:<https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2548255> (дата звернення 02.05.2022.)

8. Mattel Bruce. Catering: a guide to managing a successful business operation / Bruce Mattel; The Culinary Institute of America. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 320 p.

9. Silvers Julia Rutherford. Professional event coordination / Julia Rutherford Silvers; series editor: Dr. Joe Goldblatt, CSEP. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 457 p. (The Wiley event management series).

10. A one person restaurant is opening in a Swedish Meadow/ Food&Wine Magazine. 2020. URL: <https://www.foodandwine.com/news/one-person-restaurant-meadow-sweden> (дата звернення 30.04.2022.)

11. Kearns Cristin E. Sugar Industry and Coronary Heart Disease Research. A Historical Analysis of Internal Industry Documents [Електронний ресурс] / Cristin E. Kearns, Laura A. Schmidt, Stanton A. Glantz // JAMA Internal Medicine. 2016. Режим доступу: <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2548255> (дата звернення 30.04.2022.)

12. Murakami K. Dietary intake and depressive symptoms: a systematic review of observational studies / K. Murakami, S. SaMolecular Nutrition Food Research. 2010. Vol. 54. P. 471–488.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2022 р.

O. Pahomska
Vinnitsia Institute of Trade and Economics

HISTORY OF CATERING INDUSTRY DEVELOPMENT - FROM THE PAST TO THE FUTURE

Summary

The article examines the historical development of the catering industry and



explores the current features of catering as a new direction of the restaurant business in Ukraine. It has been proven that catering services provide a wide range of restaurant services and are one of the most dynamic sectors of the restaurant business in Ukraine.

The world market for the catering industry began to develop actively in the United States in the early twentieth century, during the large-scale construction of skyscrapers, to organize the nutrition of many workers. At the same time, the idea quickly spread as a way to provide food for employees of large industrial enterprises and office workers in business centers in the United States and Europe in order to more effectively organize the working day.

Recently in Ukraine there has been a steady trend of moving services for the organization of consumption and customer service from the halls of restaurants to workplaces (offices, institutions), places of rest, places to celebrate anniversaries and other official and unofficial holiday events, to home. The catering service is provided not only by restaurants (restaurants, cafes, bars), but also by companies established on the basis of restaurants.

Today there are the following main types of catering: cooking in a restaurant; outside the enterprise (on-site restaurant service); supply contract (delivery to offices, enterprises, etc.).

The number of catchers in our country is growing every year. Domestic catering companies are divided into two groups: those that work at the restaurant, and independent. Almost all restaurant chains have their own catering agencies. Even unprofitable restaurants are engaged in outbound service, which in this way try to save the business. The leader of the Ukrainian catering market is currently the French company Sodexo. Also among the leaders should be mentioned catering companies: "Eurocatering", "Stagecoach", "Jam catering" "VIP catering". The Ukrainian catering market is mainly concentrated in Kyiv.

Catering services in Ukraine are rapidly developing and improving their methods of working with customers, expanding the list of services. Catering is a highly profitable and promising activity for restaurants that plan to organize services permanently, rather than periodically in order to raise additional income for the institution.

Key words: exit service, food industry, restaurant business, VIP-catering, food services.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-18

УДК 621.313.3

О. Ю. Вовк, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-0154-6972

С. О. Квітка, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9234-9274

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧЕ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НАСОСНИХ УСТАНОВОК В УМОВАХ ЗНИЖЕННЯ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ

Анотація. У статті позначено народно-господарську проблему збереження ресурсу асинхронних електродвигунів в умовах зниження напруги мережі живлення, яка є актуальною для віддалених технологічних об'єктів або тих, що одержують живлення від автономних джерел енергії, та розглянуто один із шляхів її вирішення на прикладі приводних асинхронних електродвигунів насосних установок. Показано, що всі існуючі системи ресурсозберігаючого управління не враховують зниження напруги на затискачах працюючого електродвигуна, від механічної характеристики робочої машини та зміну температури навколишнього середовища. У статті встановлено причинно-наслідковий зв'язок між зниженням напруги на затискачах працюючого асинхронного електродвигуна та неприпустимим зниженням його ресурсу. При розгляді зношення ресурсу електродвигуна основна увага присвячена тепловому зношенню ресурсу, як основному в експлуатації. На основі механічних показників та схеми заміщення асинхронного електродвигуна проаналізовано процес електромеханічного перетворення енергії з точки зору ресурсозбереження. В результаті аналізу встановлено залежності швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції завантаження, прикладеної напруги та температури навколишнього середовища з урахуванням виду механічної характеристики насосного агрегату. На базі отриманих рівнянь, які є математичною моделлю ресурсозбереження працюючих асинхронних електродвигунів, розраховані та побудовані залежності швидкості теплового зношення ізоляції у функції завантаження електродвигуна та функції температури навколишнього середовища. Аналіз даних залежностей дозволив встановити правила управління асинхронним електродвигуном залежно від величини зниження



напруги живлення або відхилення температури навколишнього середовища, виходячи з номінального значення швидкості теплового зносу ізоляції.

Ключові слова. Асинхронний електродвигун, витрата ресурсу, швидкість теплового зношення ізоляції, насосний агрегат, механічна характеристика, навантаження, зниження напруги, ресурсозбереження, управління.

Постановка проблеми. На сьогодні приблизно 40% електричної енергії, що виробляється у світі, споживається асинхронними електродвигунами, кількість яких перевищує 300 млн. штук [1]. Найбільш за все вказані електродвигуни застосовуються у різних виробничих процесах промисловості, споживаючи до 80 % електроенергії даної галузі економіки [2 – 3]. Значна частка цієї спожитої електроенергії припадає на насосні системи, які за даними [4] споживають близько 22 % від вказаного обсягу.

Таке розповсюдження як у промисловості в цілому, так і зокрема в насосних установках асинхронні електродвигуни отримали завдяки високій конструкційній надійності та порівняно незначній вартості виготовлення [5 – 6]. В той же час експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів у всіх галузях економіки Європи перебуває на недостатньому рівні, про що свідчить наступне: щорічно виходять з ладу та ремонтуються у середньому від 5 до 10 % зазначених електродвигунів [7 – 8]. Для електродвигунів насосів середній наробіток на відмову становить лише 2,5 роки [9]. Головними причинами такої невисокої експлуатаційної надійності вказаних двигунів є зовнішні впливи на них як з боку живлячої мережі, так і з боку робочих машин, які не були передбачені при їх проєктуванні [10]. Значними експлуатаційними впливами, особливо на електродвигуни насосних установок, є теплове старіння ізоляції та зниження напруги живлячої мережі на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів [11 – 12].

Відомо, що навіть незначне зниження якості живлячої напруги призводять до негативних наслідків, пов'язаних зі старінням ізоляції і зниженням таких енергетичних показників роботи асинхронних двигунів як коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності [13]. При відхиленні напруги в мережі від номінального значення активна потужність на валу асинхронного двигуна залишається практично постійною, а в ньому змінюються втрати активної потужності [14]. Це обумовлює зміну нагріву асинхронного електродвигуна та, як наслідок, зміну швидкості теплового зношення його ізоляційної конструкції. Теплове зношення є одним з головних чинників, яке впливає на старіння ізоляційної конструкції [15]. Тому необхідно запропонувати



такий підхід до керування асинхронними електродвигунами насосних установок, який би забезпечив номінальну швидкість теплового зношення їх ізоляції в умовах зниженої напруги. Одним з головних параметрів, який можна змінювати при керуванні електродвигунами насосних установок, є їх навантаження. Тому що краще тимчасово, наприклад, подати менше води у систему водопостачання, ніж взагалі залишитись без неї упродовж значного проміжку часу внаслідок відмови електродвигунів насосних агрегатів.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні проводяться дослідження і пропонуються рекомендації виключно у напрямку енергозберігаючого керування насосними установками, як правило в умовах номінальної напруги, що і призводить до зазначеної вище проблемної ситуації. У цьому напрямку працюють багато вчених, серед яких Барський В. А., Бешта А. С., Горбачев Н. В., S. Mirchevski, S. Hussein, Н. Gavrilа, Гуляев І. В., Тутаев Г. М., Борисевич А. В., Козарук А. Е., Васильев В. Ю., Ушаков А. С., Колганов А. Р., Назипова Л. Р., М. Jannati, S. A. Anbaran, G. Kohlrusz, D. Fodor і багато інших, якими було досліджено різні аспекти енергозберігаючого керування асинхронних електродвигунів. Дослідження і рекомендації саме ресурсозберігаючого керування, ще й в умовах зниження живлячої напруги, відсутні.

Формулювання цілей статті. Тому необхідно запропонувати такий спосіб керування асинхронними електродвигунами приводу насосних агрегатів, який би чітко вказував наступне: на скільки необхідно знизити навантаження на валу електродвигуна приводу насосу з метою збереження номінальної швидкості теплового зношення його ізоляційної конструкції в умовах зниженої напруги та підвищеної температури навколишнього середовища.

Основна частина. З цією метою розглянемо більш детально головні експлуатаційні впливи на асинхронні електродвигуни приводів насосних агрегатів. Через те, що в процесі експлуатації зазначені електродвигуни перебувають під впливом зниження напруги на їх затискачах, то механізм розвитку процесу пошкодження їх ізоляції буде наступний. Зниження напруги на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів призводить до збільшення їх ковзання і, як наслідок, до збільшення споживаних ними струмів та відповідно до перевантаження за струмом. Останнє, у свою чергу, викликає підвищення вібрації, збільшення електродинамічних зусиль між провідниками обмотки, зниження опору виткової ізоляції, а також перегрівів виткової, корпусної ізоляції та осердя. Наслідком перегрівання ізоляції є її теплове зношення, яке призводить до виникнення локальних дефектів виткової ізоляції у пазових та лобових частинах. Ці дефекти обумовлюють спочатку незвершені пробої



виткової ізоляції, а потім і повні виткові замикання, які, в свою чергу, викликають відмову електродвигунів.

При цьому слід враховувати зміну завантаження насосних агрегатів, які приводять у рух асинхронні електродвигуни, а також зміну температури навколишнього середовища. Збільшення завантаження насосних агрегатів призводить до збільшення споживаних електродвигунами струмів, до перевантаження асинхронних електродвигунів за струмом, до підвищення температури обмотки, до перегріву виткової ізоляції, до теплового зношення ізоляції, до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у лобових та пазових частинах, які призводять до незавершених пробоїв виткової ізоляції, а потім і до повних виткових замикань та відмови електродвигуна. Збільшення температури навколишнього середовища призводить до підвищення температури обмотки, до перегріву виткової ізоляції, до теплового зношення ізоляції, до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у лобових та пазових частинах, які призводять до незавершених пробоїв виткової ізоляції, а потім і до повних виткових замикань та відмови електродвигуна.

Таким чином, з урахуванням викладеного вище у подальших дослідженнях необхідно враховувати причинно-наслідковий зв'язок зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів насосних установок, який наведений на рисунку 1.

Як впливає з рис.1 головним проявом зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів насосних установок є підвищення їх нагріву, яке призводить до збільшення теплового зношення ізоляції. Параметром, який характеризує теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна, є швидкість теплового зношення ізоляції, яка визначається так [15 – 16]:

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{\tau_{1n} + \vartheta_{сер,n} + 273} - \frac{1}{\tau_{1y} + \vartheta_{сер} + 273} \right) \right], \quad (1)$$

де ε – швидкість теплового зношення ізоляції, баз.год./год.;

ε_n – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції, баз.год./год.;

B – параметр, що характеризує клас ізоляції, К;

τ_{1n} – номінальне усталене перевищення температури обмотки, °С;

$\vartheta_{сер,n}$ – номінальна температура навколишнього середовища, °С;

τ_{1y} – поточне усталене перевищення температури обмотки, °С;

$\vartheta_{сер}$ – поточна температура навколишнього середовища, °С.



Рисунок 1. Причинно-наслідковий зв'язок зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів насосних установок

Отже швидкість теплового зношення ізоляції залежить від номінальної швидкості теплового зношення ізоляції ε_n , параметру, що характеризує клас ізоляції, B , номінального усталеного перевищення температури обмотки τ_{1n} , номінальної температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер,n}$, поточного усталеного перевищення температури обмотки τ_{1y} , поточної температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер}$, тобто $\varepsilon = f(\varepsilon_n, B, \tau_{1n}, \vartheta_{сер,n}, \tau_{1y}, \vartheta_{сер})$. Значення ε_n , B , τ_{1n} , $\vartheta_{сер,n}$ залежать



тільки від конструкції асинхронного електродвигуна, значення $\mathcal{G}_{сер}$ визначає вплив температури навколишнього середовища на швидкість теплового зношення ізоляції, а значення τ_{1y} визначає вплив режиму роботи насосного агрегату на швидкість теплового зношення ізоляції, тобто відхилення напруги на затискачах електродвигуна та ступінь його завантаження.

Поточне усталене перевищення температури обмотки статора асинхронного електродвигуна на підставі розгляду теплових процесів у електродвигуні із використанням його експлуатаційної двоелементної еквівалентної теплової схеми запишеться так [15]:

$$\tau_{1y} = \tau_{1н} \frac{\frac{\Delta P_{const.н} + k_i^2}{\Delta P_{var.н}}}{1 + \frac{\Delta P_{const.н} - \alpha \cdot \tau_{1н} \cdot (k_i^2 - 1)}{\Delta P_{var.н}}}, \quad (2)$$

де $\Delta P_{const.н}$ – номінальне значення постійних втрат в електродвигуні, Вт;

$\Delta P_{var.н}$ – номінальне значення змінних втрат в електродвигуні, Вт;

k_i – кратність сили струму у обмотці статора;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідників обмотки статора електродвигуна, $1/^\circ\text{C}$.

Отже, усталене перевищення температури обмотки τ_{1y} залежить від класу ізоляції обмотки, яка визначає її номінальне усталене перевищення температури $\tau_{1н}$, кратності струму електродвигуна k_i , втрат потужності $\Delta P_{const.н}$, $\Delta P_{var.н}$ та матеріалу провідників обмотки, якому відповідає температурний коефіцієнт опору α . Тобто $\tau_{1y} = f(\tau_{1н}, k_i, \Delta P_{const.н}, \Delta P_{var.н}, \alpha)$.

З вказаних вище показників тільки кратність сили струму електродвигуна змінюється від напруги, прикладеної до його затискачів. Для встановлення залежності квадрату кратності струму в обмотці статора асинхронного електродвигуна в залежності від прикладеної напруги розглянемо його Г-подібну схеми заміщення, представлену на рис.2 [17].

На схемі (рис.2) позначено: \dot{U}_1 – комплекс діючого значення прикладеної до фази напруги; \dot{I}_1 – комплекс діючого значення споживаного фазою струму; \dot{I}_2'' – комплекс діючого значення сили струму навантажувальної вітки схеми; \dot{I}_0 – комплекс діючого значення сили струму вітки намагнічування схеми; s – ковзання електродвигуна; $r_1', x_1', r_2'', x_2'', r_1, x_1, r_0, x_0$ – параметри схеми.

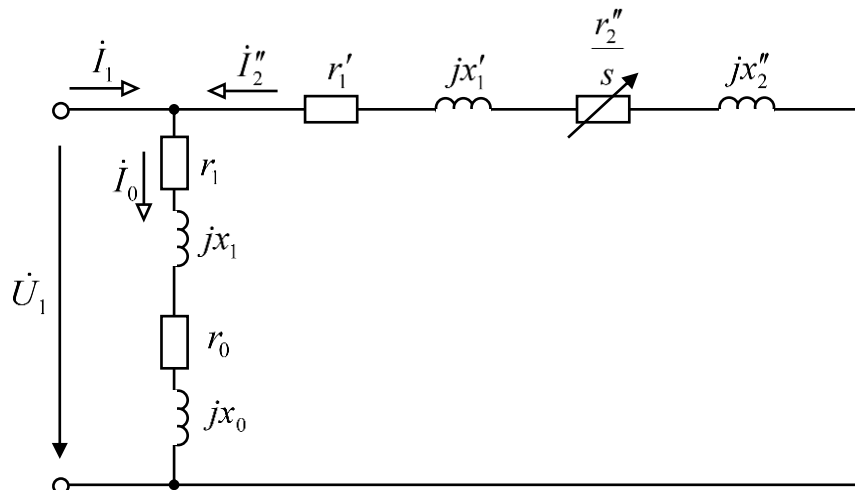


Рисунок 2. Г-подібна схема заміщення фази трифазного асинхронного електродвигуна

Сила струму у навантажувальній вітці схеми за номінальної напруги і номінального навантаження буде дорівнювати:

$$I_{2н}'' = \frac{U_{1н}}{(r_1' + r_2''/s_n)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (3)$$

Сила струму у навантажувальній вітці схеми за неномінальної напруги і неномінального навантаження буде дорівнювати:

$$I_2'' = \frac{U_1}{(r_1' + r_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (4)$$

Розділивши (4) на (3) отримаємо:

$$k_i = k_u \cdot \frac{(r_1' + r_2''/s_n)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{(r_1' + r_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2}, \quad (5)$$

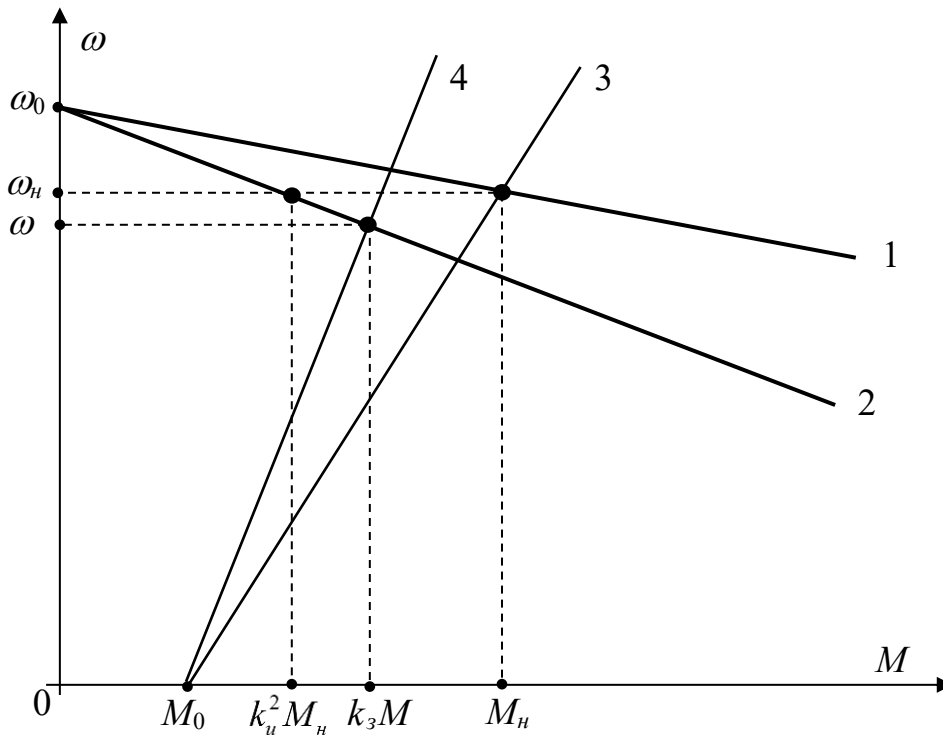
де $k_u = U_1/U_{1н}$ – кратність прикладеної напруги до затискачів електродвигуна.

Як видно з (5) кратність струму у обмотці статора електродвигуна залежить від кратності прикладеної напруги, його параметрів, а також номінального і поточного ковзання. З цих величин, окрім самої кратності прикладеної напруги, ще й поточне ковзання залежить від прикладеної напруги до затискачів електродвигуна. Тому проаналізуємо вплив зниження напруги живлячої мережі на поточне ковзання електродвигуна з урахуванням його коефіцієнту



завантаження та виду робочої машини, яку він приводить у рух. Для цього скористаємось механічними характеристиками трифазного асинхронного електродвигуна і насосу.

Лінеалізуємо робочу ділянку механічної характеристики електродвигуна та механічну характеристику насосу. Такі лінеалізовані робочі ділянки механічної характеристики асинхронного електродвигуна відповідно при номінальній та зниженій напрузі живлячої мережі та лінеалізовані механічні характеристики насосу відповідно при номінальному та зниженому навантаженні представлені на рисунку 3.



1, 2 – лінеалізовані робочі ділянки механічної характеристики асинхронного електродвигуна відповідно при номінальній та зниженій напрузі живлячої мережі; 3, 4 – лінеалізовані механічні характеристики насосу відповідно при номінальному та зниженому навантаженні; ω_0 , ω_n , ω – відповідно синхронна, номінальна і поточна кутові швидкості асинхронного електродвигуна; M_0 – початковий момент опору насосу; M_n , M – відповідно номінальний та поточний моменти на валу асинхронного електродвигуна; k_s – коефіцієнт завантаження асинхронного електродвигуна.

Рисунок 3. Механічні характеристики асинхронного електродвигуна та насосу

Використовуючи рис. 3 та признак подібності трикутників, можемо записати:



$$\frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0 - \omega} = \frac{k_3 \cdot M}{k_U^2 \cdot M_n} \quad (6)$$

Звідки знаходимо:

$$M = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0 - \omega} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} \cdot M_n, \quad (7)$$

або

$$M = \frac{s}{s_n} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} \cdot M_n. \quad (8)$$

Ковзання асинхронного електродвигуна визначає діюче значення сили струму в обмотці статора, від квадрата якого залежить кількість теплоти, що виділяється у цій обмотці при роботі електродвигуна. Дослідимо, як буде змінюватись ковзання двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики насоса. Для цього скористаємось емпіричним рівнянням механічної характеристики насоса [15]:

$$M_{on} = M_0 + (M_{on.n} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (9)$$

де M_{on} , $M_{on.n}$ – відповідно поточне та номінальне значення моменту опору насоса, Н·м.

Якщо підставити (8) у (9) та розділити на M_n , то отримаємо:

$$\frac{s}{s_n} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} = M_{0*} + (1 - M_{0*}) \cdot \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^2, \quad (10)$$

де $M_{0*} = M_0/M_n$ – відносне значення початкового моменту опору насоса.

Розв'язок (10) щодо ковзання s для режиму двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики насоса та номінального ковзання електродвигуна і відносного початкового моменту опору насоса наступний:



$$s = 1 + \frac{k_u^2}{k_3} \cdot \frac{(1-s_H)^2}{2 \cdot s_H \cdot (1-M_{0*})} - \left(1 + \frac{k_u^2 \cdot (1-s_H)^2 (k_u^2 \cdot (1-s_H)^2 + k_3 \cdot s_H \cdot (1-M_{0*}))}{4 \cdot k_3^2 \cdot s_H^2 \cdot (1-M_{0*})^2} - \frac{1-M_{0*} \cdot s_H}{1-M_{0*}} \right)^{0,5}. \quad (11)$$

Отже проведені аналітичні дослідження дозволяють зробити висновок, що швидкість теплового зношення ізоляції є функцією конструкційних та експлуатаційних показників асинхронного електродвигуна та насосу. Конструкційні показники електродвигуна обумовлені як його загальною конструкцією, так і його ізоляційною конструкцією, а насосу – видом його механічної характеристики; експлуатаційні показники носять режимний характер і враховують зниження напруги на затискачах електродвигуна, його коефіцієнт завантаження та температуру навколишнього середовища. Тобто $\varepsilon = f(\varepsilon_n, B, \tau_{1n}, \mathcal{Q}_{сер.н}, r_1', r_2'', x_1', x_2'', \Delta P_{const.н}, \Delta P_{var.н}, \alpha, s_H, M_{0*}, k_u, k_3, \mathcal{Q}_{сер})$.

Використовуючи отримані залежності (1), (2), (5), (11) промодельємо зміну швидкості теплового зносу ізоляції в залежності від експлуатаційних показників режимного характеру (коефіцієнту зниження напруги, коефіцієнту завантаження, температури навколишнього середовища) з урахуванням зазначених вище конструкційних показників двигуна і насосу для асинхронного електродвигуна типорозміру АИР132S4 приводу насосного агрегату.

Прийmemo, що коефіцієнт завантаження досліджуваного асинхронного електродвигуна змінюється від 0 до 1, коефіцієнт зниження напруги на його затискачах має такі значення: 1,0; 0,95; 0,9; 0,85, температура навколишнього середовища має наступні значення: 40°C; 25°C; 10°C.

Результати моделювання залежності $\varepsilon = f(k_3)$ при різних коефіцієнтах відхилення живлячої напруги та фіксованій температурі навколишнього середовища, представлено на рисунку 4.

Результати моделювання $\varepsilon = f(k_3)$ даного електродвигуна при різних коефіцієнтах відхилення живлячої напруги та інших фіксованих значеннях температури навколишнього середовища, мають подібний до рисунку 4 характер.

Такі моделювання були проведені для всіх електродвигунів даної серії. Аналіз цих залежностей показав наступне: якщо напруга на затискачах асинхронного електродвигуна знижується на 5% за незмінної температури навколишнього середовища, то для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна

необхідно знизити його завантаження на 10% у робочому діапазоні.

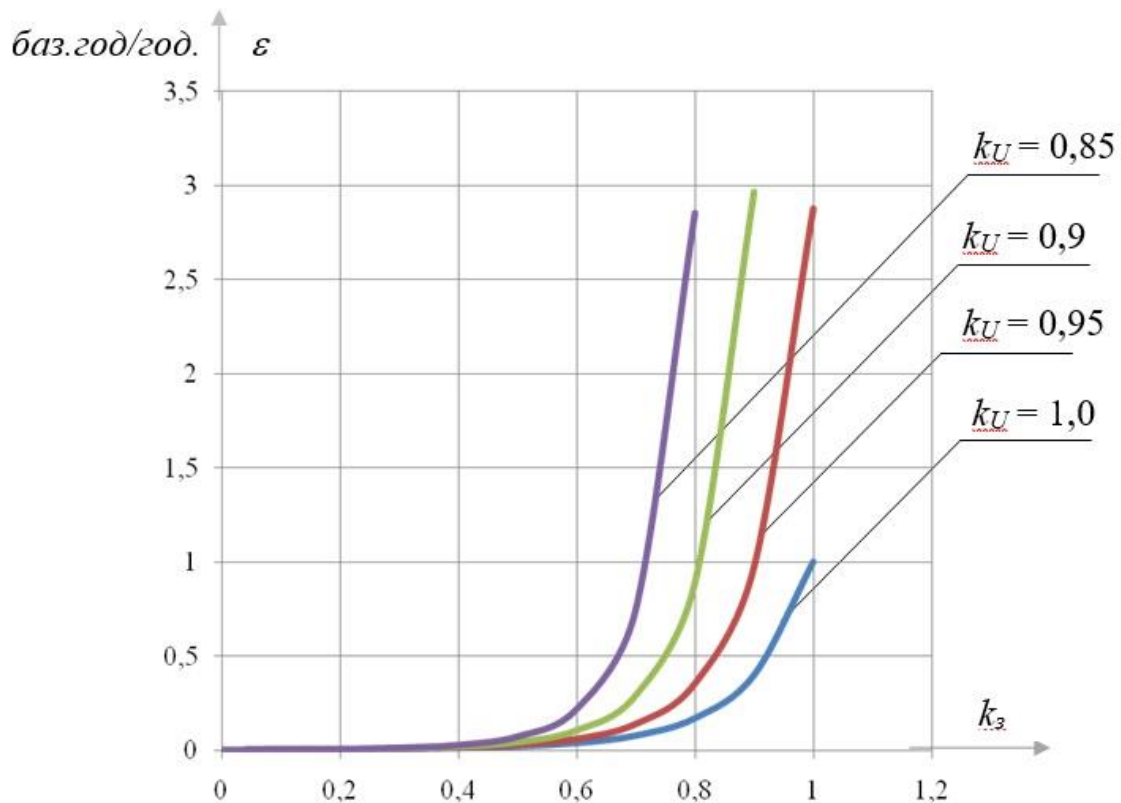


Рисунок 4. Залежність $\varepsilon = f(k_3)$ при різних k_u , $\vartheta_{сер} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ електродвигуна АИР132S4

Якщо враховувати вплив зниження напруги на асинхронний електродвигуна приводу насосу, то для збереження номінальної швидкості зношення його ізоляції завантаження електродвигуна у робочому діапазоні необхідно змінювати так:

$$k_3 = \left(\frac{U_1}{U_{1н}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Результати моделювання $\varepsilon = f(k_3)$ електродвигуна АИР132S4 при різних температурах навколишнього середовища і фіксованому коефіцієнті відхилення живлячої напруги представлено на рисунку 5.

Результати моделювання $\varepsilon = f(k_3)$ даного електродвигуна при різних температурах навколишнього середовища та інших фіксованих значеннях коефіцієнта відхилення живлячої напруги мають подібний до рисунку 5 характер.

Такі моделювання були проведені для всіх електродвигунів даної серії. Аналіз цих залежностей показав наступне: якщо температура навколишнього середовища асинхронного електродвигуна збільшується на 10°C (або на 25%) за незмінної напруги на затискачах

електродвигуна, то для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна необхідно знизити його завантаження на 5 % у робочому діапазоні.

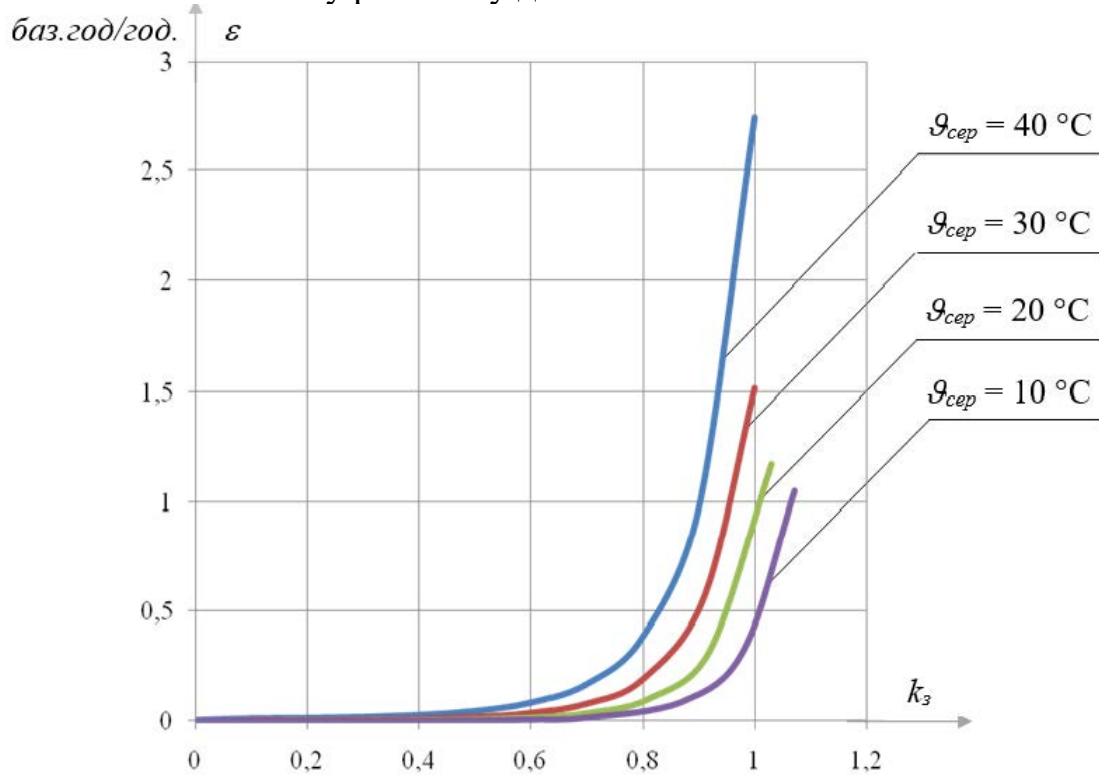


Рисунок 5. Залежність $\varepsilon = f(k_3)$ при різних $\theta_{сер}$, $k_u = 0,95$ електродвигуна АИР132S4

Якщо враховувати вплив зміни температури навколишнього середовища на асинхронний електродвигуна приводу насосу, то для збереження номінальної швидкості зношення його ізоляції завантаження електродвигуна у робочому діапазоні необхідно змінювати так:

$$k_3 = \left(\frac{\theta_{сер}}{\theta_{сер.н}} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (13)$$

Якщо враховувати сукупний вплив зниження напруги та зміни температури навколишнього середовища на асинхронний електродвигуна приводу насосу, то для збереження номінальної швидкості зношення його ізоляції завантаження електродвигуна у робочому діапазоні необхідно змінювати так:



$$k_3 = \left(\frac{U_1}{U_{1н}} \cdot \frac{g_{сер}}{g_{сер.н}} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (14)$$

Висновки.

1. При роботі асинхронних електродвигунів приводу насосних агрегатів в умовах зниження напруги і зміни температури навколишнього середовища необхідно тимчасово, на період зниження напруги, зменшувати їх завантаження задля збереження номінальної швидкості теплового зношення їх ізоляції.

2. При зниженні напруги на затискачах асинхронного електродвигуна приводу насосного агрегату на кожні 5 % щодо номінального значення необхідно знижувати його завантаження на 10% для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна у робочому діапазоні навантажень.

3. При збільшенні температури навколишнього середовища на затискачах на кожні 10°C (або на 25 %) щодо номінального значення необхідно знижувати завантаження асинхронного електродвигуна приводу насосного агрегату на 5 % для збереження номінальної швидкості теплового зношення його ізоляції у робочому діапазоні навантажень.

Список використаних джерел:

1. De la Morena Cancela J. Eficiencia energética en motores eléctricos. Normativa IEC 60034-30. II Congreso de Eficiencia Energética, Madrid, Octubre 2012.

2. Thomson W.T., Culbert I. Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors. IEEE Press, Wiley, New Jersey, 2017.

3. Thomson W.T., Fenger M. Current signature analysis to detect induction motor faults. IEEE Industry Applications Magazine, July/August 2001, Pp.26–34.

4. European Commission. Study on improving the energy efficiency of pumps, 2001.

5. Chouhan A., Gangsar P., Porwal R., Mechefske Ch.K. Artificial neural network based fault diagnostics for three phase induction motors under similar operating conditions. Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 30, 2020, pp.55–60.

6. Henao H., Capolino G. A., Fernandez Cabanas M., Filippetti F., Bruzzese C., Strangas E., Hedayati Kia S. Trends in fault diagnosis for electrical machines: a review of diagnostic techniques. Industrial Electronics Magazine, Vol. 8, Issue 2, 2014, pp.31–42.

7. De Almeida A. T., Ferreira F.J.T.E., Baoming G. Beyond induction



motors – Technology trends to move up efficiency. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 3, Pp.2103–2114.

8. Bonnett, Austin H. Root Cause Failure Analysis for AC Induction Motors in the Petroleum and Chemical Industry. *Proceedings, 57th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, 2010.

9. CDE Project Report: Collection and Analysis of Common-cause Failures of Centrifugal Pumps. *NEA/CSNI/R (2013) 2*.

10. Jahić A., Hederić Ž., Bečić E. Definiranje uzroka nastanka kvarova i njihovo lociranje na rotoru velikih viskonaponskih kavezniha asinhronih motora”, *Међународна konferencija za visokonaponske električne sisteme BHK CIGRE, XI Bosansko – hercegovačko savjetovanje*, *Proceedings R.A1.07.*, Neum, 2013.

11. Jouanne A., Banerjee B. Assessment of Voltage Unbalance. *IEEE Trans. Power Delivery* 16, 2001, Pp.782–790.

12. Korving H., Ottenhoff E.C. Analysis of the causes of pump failure and differences of failure characteristics. *Water Sci Technol (2008) 57 (8)*: pp.1271–1276.

13. Anwari M., Hiendro A. New unbalance factor for estimating performance of a three-phase induction motor with under- and overvoltage unbalance. *IEEE Transactions on energy conversion*, vol. 25, no. 3, September 2010, Pp. 619–625.

14. Kostic M., Nikolic A. Negative Consequence of Motor Voltage Asymmetry and Its Influence on the Inefficient Energy Usage, *Wseas Transaction On Circuits And Systems*, Issue 8, Volume 9, August 2010, Pp. 547–556.

15. Овчаров С. В. Ресурсоенергосберегающие эксплуатационные режимы силового электрооборудования. К.: Видавництво ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. 293 с.

16. Вовк О. Ю. Сталий процес нагрівання асинхронного електродвигуна. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь: ТДАТА. Вип.5. 2002. С. 62–66.

17. Vovk O., Kvitka S., Halko S., Strebkov O. Energy-Saving Control of Asynchronous Electric Motors for Driving Working Machines. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations.* – Cham: Springer International Publishing, 2019. P.415–423.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2022 р.

O. Vovk, S. Kvitka

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

**RESOURCE-SAVING CONTROL OF THE LOAD OF ASYNCHRONOUS
ELECTRIC MOTORS OF PUMPING UNIT IN THE CONDITIONS
OF A REDUCED SUPPLY VOLTAGE**



Summary

The article outlines the national economic problem of saving the resource of asynchronous electric motors in the conditions of a decrease in the supply voltage, which is relevant for remote technological objects or those receiving power from autonomous power sources, and considers one of the ways to solve it using the example of driving asynchronous electric motors of pumping units. It is shown that all existing resource-saving control systems do not take into account the decrease in voltage at the terminals of a running electric motor, the type of mechanical characteristic of the working machine, and changes in ambient temperature. The article establishes a causal relationship between a decrease in voltage at the terminals of a working asynchronous electric motor and an unacceptable decrease in its resource. When considering the wear of the electric motor resource, the main attention is devoted to the thermal wear of the resource, as the main one in operation. Based on the mechanical characteristics and the equivalent circuit of an asynchronous electric motor, the process of electromechanical energy conversion is analyzed from the point of view of resource saving. As a result of the analysis, the dependences of the thermal wear rate of the insulation of an asynchronous electric motor were established as a function of load, applied voltage and ambient temperature, taking into account the type of mechanical characteristic of the pumping unit. On the basis of the obtained equations, which are a mathematical model of resource saving of operating asynchronous electric motors, the dependences of the thermal wear rate of the insulation as a function of the motor load and as a function of the ambient temperature are calculated and plotted. The analysis of these dependencies made it possible to establish the rules for controlling an asynchronous electric motor, depending on the magnitude of the decrease in the supply voltage or the deviation of the ambient temperature, based on the nominal value of the thermal wear rate of the insulation.

Key words: asynchronous electric motor, resource consumption, insulation thermal wear rate, pumping unit, mechanical characteristic, load, voltage reduction, resource saving, control.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-19

УДК 537.874:528.27

Н. А. Дьоміна, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1118-1834

М. В. Морозов, к.ф-м.н.

ORCID: 0000-0002-5122-8449

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: natalia.domina@tsatu.edu.ua, тел.: (0619)42-68-74

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У СУПУТНИКОВІЙ ГЕОДЕЗІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ

Анотація. Під час дослідження розглянуто методи лазерної доплерівської інтерферометри вимірювання швидкості та прискорення вільного падіння в гравіметрії. До одного з методів геофізики вивчення структури земної кори та пошуку корисних копалин належить визначення прискорення вільного падіння. Метод лазерної доплерівської інтерферометри визначення миттєвої швидкості є найбільш точним і перспективним. Проведено комп'ютерне моделювання процесу вимірювання в доплерівській інтерферометрії і автоматизації вимірювання, що забезпечує підвищення точності і автоматизацію визначення прискорення у реальному часі. Розглянуто комп'ютерне математичне моделювання процесу вимірювання прискорення вільного падіння балістичним методом. Представлено оптичну схему експериментальної вимірювальної установки диференціальним методом. Застосовано лазерний інтерферометр Майкельсона для вимірювання швидкості дифузновідбиваючої поверхні. Для розробки програми визначення прискорення та забезпечення автоматизації вимірювання у реальному часі проведено моделювання форми доплерівського сигналу в залежності від початкової фази. Проведено аналіз методів визначення площі поверхні ділянок у землеробстві при формуванні земельних кадастрів. У випадку криволінійної поверхні перспективним є метод триангуляції представлення складної поверхні у вигляді набору суміжних трикутників, що дає змогу обчислити площу кожного окремого трикутника. За допомогою векторної алгебри визначається площа ділянок через відомі координати реперних точок, що визначаються методами супутникової геодезії та GPS-приймачами. Розроблено алгоритм та програму обчислення площі криволінійної поверхні з використанням пакету MathCAD, якщо визначені за допомогою GPS-приймачів координати відповідних реперних точок.



Ключові слова: комп'ютерне моделювання, супутникова геодезія, доплерівська інтерферометрія, автоматизація вимірювань, площа поверхні ділянки.

Постановка проблеми. Для вивчення характеристик гравітаційного поля Землі у гравіметрії використовують балістичний метод вимірювання прискорення вільного падіння. Найбільш точним і перспективним є метод лазерної доплерівської інтерферометри визначення миттєвої швидкості та у подальшому прискорення вільного падіння. Моделювання процесу вимірювання забезпечує підвищення точності і автоматизацію визначення прискорення у реальному часі. Крім того, застосування супутникової геодезії та GPS-приймачів забезпечує позиціонування земельних ділянок, у першу чергу в сільському господарстві, та визначення периметру і площі. При застосуванні супутникової геодезії у сільському господарстві супутникові технології використовують для складання земельних кадастрів та визначення площі ділянок. Вдосконалення методів визначення площі у випадку криволінійних поверхонь є актуальним. Актуальними також є програмні розробки моделювання процесу вимірювання прискорення вільного падіння у гравіметрії.

Аналіз останніх досліджень. В роботах [1-4] розглянуто застосування супутникової геодезії у землеробстві і технології прецизійного водіння сільгоспмашин. В статті [5] представлено методи лазерної доплерівської інтерферометрії та моделювання процесу вимірювання швидкості частинок. Використання лазерної доплерівської інтерферометрії у гравіметрії для визначення швидкості та прискорення вільного падіння у різних точках поверхні Землі розглядається у статтях [6-10]. Застосування супутникової геодезії у землеробстві для вимірювання площі сільськогосподарських ділянок в першу чергу з криволінійної поверхнею та складання кадастрів представлені у роботах [11-13]. Дослідження точності визначення координат в системах точного цифрового землеробства та методи підвищення точності та інформативності вимірювань представлені в статтях [14,15]. В роботах [16-17] розглянуто методи радіолокаційної інтерферометрії та доплерівської інтерферометрії для моніторингу поверхні Землі за допомогою штучних супутників. Для точного вимірювання великих об'єктів широко використовуються лазерні трекери [18-23, 25, 27-31]. Дослідження різних вимірювальних систем наведено в статтях [24, 26, 32-35]. У гравіметрії найбільш точним і перспективним є метод лазерної доплерівської інтерферометрії визначення миттєвої швидкості та вільного прискорення. Моделювання процесу вимірювання забезпечує підвищення точності і автоматизацію визначення прискорення у реальному часі.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо комп'ютерне математичне моделювання процесу вимірювання прискорення g вільного падіння балістичним методом. Миттєва швидкість v тіла при падінні у вакуумі зі стану спокою ($v_0 = 0$) дорівнює:

$$v = gt \quad (1)$$

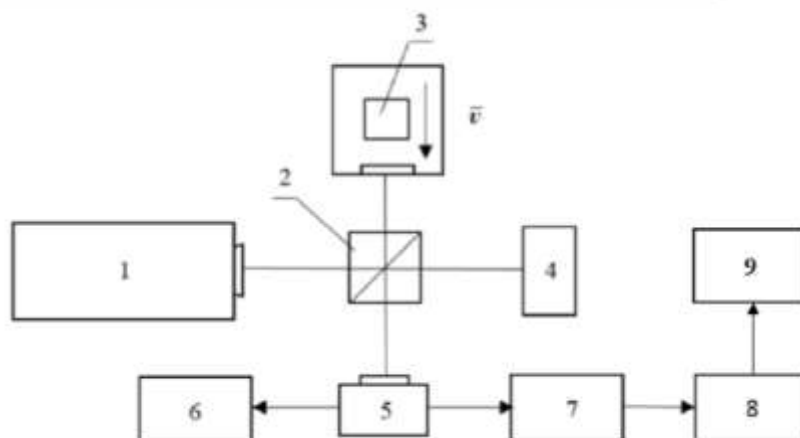
Визначаємо швидкість v тіла в момент часу t_1 хта t_2 :

$$v_1 = v_0 + gt_1, v_2 = v_0 + gt_2 \quad (2)$$

Тоді прискорення вільного падіння дорівнює:

$$g = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

Миттєва швидкість вимірюється за допомогою лазерної доплерівської інтерферометри. Оптична схема експериментальної вимірювальної установки (диференціальний метод) представлена на рис 1. Застосовуємо лазерний інтерферометр Майкельсона для вимірювання швидкості дифузновідбиваючої поверхні.



1 – лазер ЛГН-222; 2 – світлоподільник; 3 – тіло, що падає у вакуумі; 4 – нерухома відбиваюча поверхня; 5 – фотоприймач; 6 – осцилограф (С 9-8); 7 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 8 – персональний комп'ютер (ПК); 9 – частотомір.

Рисунок 1. Оптична схема лазерної вимірювальної установки

Дифузновідбиваючі поверхні тіла 3 швидкість v якого визначають та нерухома референтна поверхня 4 освітлюють сфокусованим когерентним випромінюванням лазера 1. У просторі реєстрації фотоприймача 5 утворюється інтерференційна спекл-структура двох когерентних хвиль. У першому наближенні приведена інтенсивність доплерівського сигналу наступним чином залежить від часу:

$$I(t) = I_0 \sin(2\pi \nu t + \varphi_0) \quad (4)$$

де $\nu = \frac{2v}{\lambda}$ – частота доплерівського сигналу;



$I_0=1$ – відносна амплітуда доплерівського сигналу;

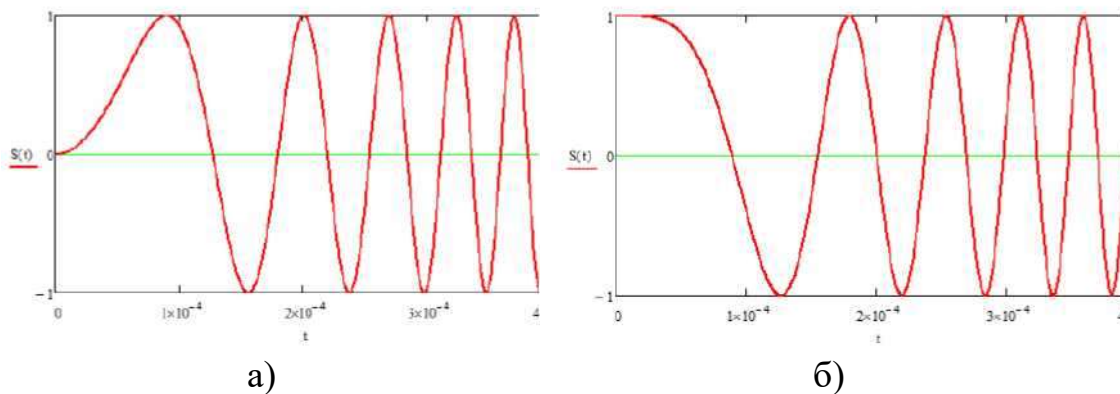
$\lambda = 0,6328$ мкм – довжина хвилі когерентного випромінювання гелій-неонового лазера;

φ_0 – початкова фаза, яка залежить від юстировки оптичної схеми.

При вільному падінні у вакуумі ($v = gt$) доплерівський сигнал дорівнює:

$$I(t) = I_0 \sin\left(\frac{4\pi g}{\lambda} t^2 + \varphi_0\right)$$

Якщо відомий вигляд доплерівського сигналу, можливо визначити залежність частоти $\nu(t)$, швидкості $u(t)$ від часу та значення прискорення δ вільного падіння. Для розробки програми визначення прискорення та забезпечення автоматизації вимірювання у реальному часі проведено моделювання форми доплерівського сигналу в залежності від початкової фази φ_0 (рис.2). Для цього використано середовище програмування MathCAD.



а) для випадку $\varphi_{0,1} = 0$; б) $\varphi_{0,2} = \pi/2$

Рисунок 2. Вигляд доплерівського сигналу

Математичне комп'ютерне моделювання дозволяє розглянути алгоритм та програму вирішення оберненої задачі - визначення частоти доплерівського сигналу, миттєву швидкість та прискорення вільного падіння, якщо відома форма доплерівського сигналу. За допомогою аналого-цифрового перетворення отримують залежність інтенсивності I від часу та визначають період T та частоту сигналу. Алгоритм визначення періоду T для довільного значення початкової фази: по- перше знаходять значення t_{ml} , при якому величина сигналу максимальна I_{T1} , потім визначають час t_2 при якому величина доплерівського сигналу дорівнює 0. Для знаходження доплерівської частоти у першому наближенні (рис. 3):



$$I'(t) = 2\pi v \cdot \cos(2\pi vt + \varphi_0) = \frac{8\pi g}{\lambda} \cdot t \cdot \cos\left(\frac{4\pi g}{\lambda} \cdot t^2 + \varphi_0\right) \quad (6)$$

Тоді

$$v_D = \frac{I'(t_2)}{2\pi} \quad (7)$$

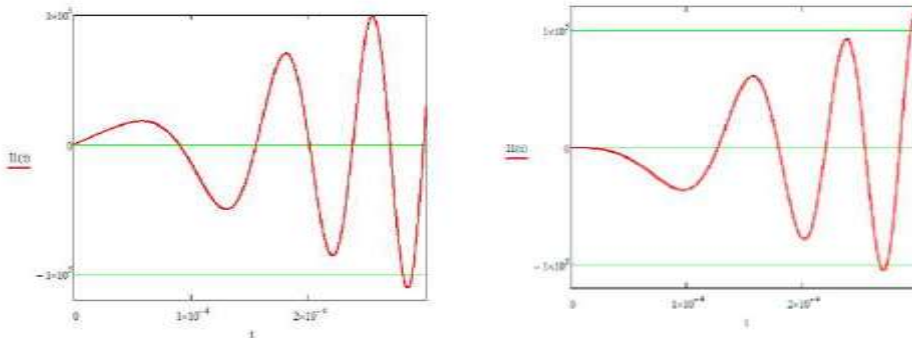


Рисунок 3. Графік залежності $I'(t)$

За допомогою частотоміра визначаємо частоту ν_1 доплерівського сигналу в момент часу t_1 та частоту ν_2 при t_2 , потім миттєві швидкості v_1 та v_2 :

$$v_1 = \frac{\nu_1 \cdot \lambda}{2} \quad (8)$$

$$v_2 = \frac{\nu_2 \cdot \lambda}{2} \quad (9)$$

Тоді прискорення вільного падіння дорівнює:

$$g = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\lambda}{2} \frac{(\nu_2 - \nu_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (10)$$

Частоту доплерівського сигналу $\nu_0(t)$ та її залежність від часу можливо виміряти за допомогою частотоміра (9). Розроблений алгоритм та програма визначення прискорення вільного падіння. Якщо за допомогою АЦП визначити похідну $I'(t)$ можливо визначити прискорення вільного падіння:

$$g = \frac{I'(t) \cdot \lambda}{8\pi t} \quad (11)$$

Методи супутникової геодезії використовують для визначення периметра та площі ділянок сільгоспугідь та садово-дачних кооперативів. За допомогою GPS-приймачів визначають координати реперних точок на межі ділянки та методами векторної алгебри розраховують площу поверхні. У випадку криволінійної поверхні типу «пагорб» (рис. 4а) додатково вимірюють координати вершини [15], представляють поверхню у вигляді чотирьох трикутників та визначають площу поверхні:

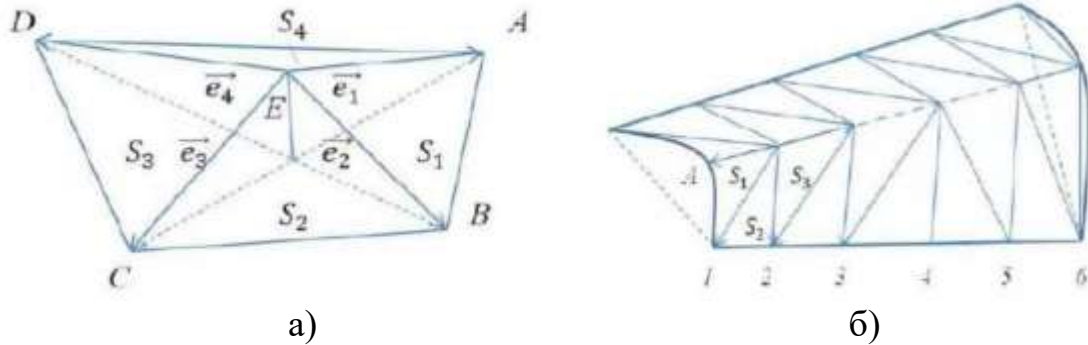
$$\begin{aligned} S(ABCDE) &= S_1(ABE) + S_2(BCE) + S_3(CDE) + S_4(ADE) = \\ &= \frac{1}{2} (|\vec{e}_1 \times \vec{e}_2| + |\vec{e}_2 \times \vec{e}_3| + |\vec{e}_3 \times \vec{e}_4| + |\vec{e}_4 \times \vec{e}_1|) \quad (12) \end{aligned}$$

Якщо криволінійна поверхня має більш складну форму (рис.4б) використовують метод триангуляції та представляють криволінійну

гладку поверхню набором відповідних трикутників та обчислюють площу [5,7,8] ділянки:

$$S = \sum_{i=1}^N s_i \quad (13)$$

де $s_i = \frac{1}{2} [|\vec{e}_i \times \vec{e}_{i+1}|]$ – площа і-го трикутника.



а) поверхня типу «пагорба»; б) метод триангуляції
Рисунок 4. Визначення площі криволінійної поверхні

Розроблено алгоритм та програма обчислення площі криволінійної поверхні з використанням пакету MathCAD, якщо визначені за допомогою GPS-приймачів координати відповідних реперних точок.

Висновки. Розглянуто методи лазерної доплерівської інтерферометри вимірювання швидкості та прискорення вільного падіння в гравіметрії. Визначення прискорення вільного падіння є одним з методів геофізики вивчення структури земної кори та пошуку корисних копалин. Розглянуто комп'ютерне моделювання процесу вимірювання в доплерівській інтерферометри і автоматизації вимірювання. З метою подальшого вдосконалення методів є актуальним дослідження та зменшення похибок вимірювання.

Зроблено аналіз методів визначення площі поверхні ділянок у землеробстві при формуванні земельних кадастрів. У випадку криволінійної поверхні перспективним є метод триангуляції представлення складної поверхні у вигляді набору суміжних трикутників. За допомогою векторної алгебри визначається площа ділянок, якщо відомі координати реперних точок, які визначаються методами супутникової геодезії та GPS-приймачами. У подальшому представляє інтерес дослідження залежності похибок (відносної, абсолютної) вимірювання площі від кривини складної криволінійної поверхні.

Список використаних джерел

1. Касім М. М., Васюхін М. І. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні. *Енергетика і автоматика*. 2016. № 2. С. 64–73.



2. Касім М. М., Васюхін М. І., Касім А. М. Високоточні методи отримання супутникових навігаційних даних для задач прецизійного водіння. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1. С. 299–309.
3. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях. *Научно-технический обзор*. М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. 110 с.
4. Васюхін М. І., Ткаченко О. М., Касім А. М., Іваник Ю. Ю. Проблеми побудови системи прецизійного землеробства на Україні. *Проблеми інформаційних технологій*. 2014. № 1. С. 112–118.
5. Morozov N. V. Simulation and automatization of measurements process in laser interferometry. *Functional Materials*. 2005. Т. 12, № 1. С. 117–119.
6. Дьоміна Н. А., Морозов М. В., Рожкова О. П., Халанчук Л. В. Математичне моделювання у супутниковій геодезії та гравіметрії з використанням пакету програм MathCad. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології: матер. І Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 29–32.
7. Сосницька Н. Л., Назарова О. П., Морозов М. В., Дьоміна Н. А. Фізико-математичне забезпечення дисциплін «Супутникова геодезія» і «Математична обробка геодезичних вимірів». *Актуальні проблеми та перспективи розвитку фундаментальних, прикладних, загальнотехнічних та безпекових наук: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2021. С.80–82.
8. Арнаутов Г. П., Гик Л. Д., Коронкевич В. П. Измерение абсолютного значения ускорения силы тяжести лазерным баллистическим гравиметром. *Квантовая электроника*. 1979. Т. 6, № 3. С. 560–567.
9. Арнаутов Г. П., Вьюхин В. Н. Аналого-цифровой интерференционный метод измерения ускорения свободного падения. *Датчики и системы*. 2013. № 7. С. 48–52.
10. Морозов М., Сосницька Н., Дьоміна Н., Халанчук Л. Супутникова геодезія: навчально-методичний посібник. Мелітополь: ФОП Силаєва О. В., 2021. 88 с.
11. Сосницька Н. Л., Морозов М. В., Дьоміна Н. А., Онищенко Г. О., Халанчук Л. В. Застосування супутникової геодезії у землеробстві. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 3. С. 11–18.
12. Дьоміна Н. А., Морозов М. В., Халанчук Л. В. Інформаційнометодичне забезпечення курсів «Супутникова геодезія» а «Обробка геодезичних вимірів». *Розвиток сучасної науки та освіти*:



реалії, проблеми якості, інновації: матер. II Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 290–295.

13. Патент на корисну модель 145672 “Спосіб визначення площини ділянки”, 2020 рік, Морозов М. В., Сосницька Н. Л., Дьоміна Н. А., Халанчук Л. В. Україна, опубл. 28.12.2020. Бюл. №24.

14. Касім М. М., Касім А. М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства. *Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні, 2016: збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф.* Немішаєве: НМЦ «Немішаєве», 2016. С. 58–60.

15. Віват А. Й., Літинський В. О., Колгунов В. М., Покотило І. Я. Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Вип. 74. 2011. С. 52–59.

16. Дагуров П. Н., Дмитриев А. В., Добрынин С. И., Захаров А. И., Чимитдоржиев Т.Н. Радиолокационная интерферометрия сезонных деформаций почвы и фазовая модель обратного рассеяния микроволн двухслойной средой с шероховатыми границами. *Оптика атмосферы и океана*. 2016, Т. 29, № 7. С. 585–591.

17. Рыхлова Л. В., Ключиков А. А. Искусственные спутники земли: Космическая геодезия и геодинамика. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25. № 4: 57–74.

18. Morse, E.; Welty, V. Dynamic testing of laser trackers. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 2015, 64, 475–478.

19. Hughes, B.; Forbes, A.; Lewis, A.; Sun, W.; Veal, D.; Nasr, K. Laser tracker error determination using a network measurement. *Meas. Sci. Technol.* 2011, 22.

20. Nasr, K. M.; Forbes, A. B.; Hughes, B.; Lewis, A. ASME B89.4.19 standard for laser tracker verification—experiences and optimisations. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 2012, 3, 89–95.

21. Aguado, S.; Pérez, P.; Albajez, J.A.; Santolaria, J.; Velázquez, J. Configuration Optimisation of Laser Tracker Location on Verification Process. *Material.s* 2020, 13, 331.

22. Aguado, S.; Santolaria, J.; Samper, D.; Aguilar, J.J. Forecasting method in multilateration accuracy based on laser tracker measurement. *Meas. Sci. Technol.* 2017, 28.

23. Gruza, M.; Gąska, P.; Gąska, A.; Harmatys, W.; Jedynek, M.; Kobiela, K. Assessment of Influence of Sample Averaging on Accuracy of Point Coordinates Measurement Performed Using Laser Tracking Systems. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* 2019, 13, 94–99.

24. Clarke, T. A.; Wang, X.; Forbes, A. B.; Cross, N. R. The case for a consistent method of verifying the performance of large volume metrology



systems. *In Proceedings of the Coordinate Measurement Systems Committee Conference Proceedings*, Detroit, MI, USA, 12–16 July 2010.

25. Conte, J.; Santolaria, J.; Majarena, A.C.; Brau, A.; Aguilar, J.J. Identification and kinematic calculation of Laser Tracker errors. *Procedia Eng.* 2013, 63, 379–387.

26. Gassner, G.; Ruland, R. Laser Tracker Calibration—Testing the Angle Measurement System. *In Proceedings of the 15th Internationale Geodätische Woche, Obergurgl*, Austria, 8–14 February 2009.

27. Lewis, A.; Hughes, B.; Forbes, A.; Sun, W.; Veal, D.; Nasr, K. Determination of misalignment and angular scale errors of a laser tracker using a new geometric model and a multi-target network approach. *In Proceedings of the MacroScale Proceedings*, Wabern, Switzerland, 2011.

28. Yan, Y.; Ouyang, J.; Liu, W.; Deng, X.; Wang, X. Error Correction for the Tracking Mirror. *In Proceedings of the International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation Proceedings, Changsha*, China, 20–22 October 2008; pp. 1048–1051.

29. Haitjema, H. Calibration of displacement laser interferometer systems for industrial metrology. *Sensors* 2019, 19, 4100.

30. Huo, D.; Maropoulos, P.G.; Cheng, C.H. The framework of the virtual laser tracker – A systematic approach to the assessment of error sources and uncertainty in laser tracker measurement. *In Proceedings of the Advances in Intelligent and Soft Computing, International Conference on Digital Enterprise Technology Proceedings (DET2009)*, Hong Kong, 14–16 December 2009; pp. 507–523.

31. Wang, J.; Guo, J.; Wang, H.; Deng, Y. The evaluation of measurement uncertainty for laser tracker based on Monte Carlo method. *In Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Automation Proceeding*, Beijing, China, 7–9 August 2011; pp. 608–612.

32. Mutilba, U.; Kortaberria, G.; Egaña, F.; Yagüe-Fabra, J.A. 3D Measurement Simulation and Relative Pointing Error Verification of the Telescope Mount Assembly Subsystem for the Large Synoptic Survey Telescope. *Sensors*. 2018, 18, 3023.

33. Sładek, J.; Gąska, A. Evaluation of coordinate measurement uncertainty with use of virtual machine model based on Monte Carlo method. *Measurement*. 2012, 45, 1564–1575.

34. Gąska, A.; Ostrowska, K.; Harmatys, W.; Gąska, P.; Gruza, M.; Owczarek, D.; Kupiec, R.; Gromczak, K.; Sładek, J. Virtual CMM model adapted for usage in industrial conditions. *In Proceedings of the IMEKO XXI World Congress Measurement in Research and Industry proceedings, Prague*. Czech Republic, 2015; pp. 1425–1429.

35. Ostrowska, K.; Gąska, A.; Sładek, J. Determining the uncertainty of measurement with the use of a Virtual Coordinate Measuring Arm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2014, 71, 529–537.



Стаття надійшла до редакції 25.03.2022 р.

N. Domina, M. Morozov
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

COMPUTER MODELING IN SATELLITE GEODESY AND MEASUREMENT AUTOMATION

Summary

The article is formulated methods of laser Doppler interferometry for measuring the speed and acceleration of free fall in gravimetry. To study the characteristics of the Earth's gravitational field in gravimetry use the ballistic method of measuring the acceleration of free fall. The most accurate and promising is the method of laser Doppler interferometry to determine the instantaneous velocity and subsequent acceleration of free fall. Modeling the measurement process provides increased accuracy and automation of real-time acceleration determination. The use of satellite geodesy and GPS receivers provides positioning of land, especially in agriculture, and determining the perimeter and area. When using satellite geodesy in agriculture, satellite technologies are used to compile land cadastres and determine the area of plots. An analysis of methods for determining the surface area of plots in agriculture in the formation of land cadastres. In the case of a curved surface, the method of triangulation of the representation of a complex surface in the form of a set of adjacent triangles is promising. With the help of vector algebra the area of plots is determined, if the coordinates of reference points are known, which are determined by the methods of satellite geodesy and GPS receivers. Mathematical computer simulation allows us to consider the algorithm and program for solving the inverse problem - determining the frequency of the Doppler signal, instantaneous velocity and acceleration of free fall, if the shape of the Doppler signal is known. With the help of GPS receivers determine the coordinates of reference points on the boundary of the site and use vector algebra methods to calculate the surface area. If the curved surface has a complex shape, use the triangulation method and calculate the area.

Key words: computer modeling, satellite geodesy, Doppler interferometry, automation of measurements, surface area of the site.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-20

УДК 538.975:621.383.5

А. Ф. Дяденчук, к.т.н.,¹

ORCID: 0000-0002-6625-9985

Є. В. Філіпович²,

ORCID: 0000-0002-9633-7251

¹Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного²Національний університет «Запорізька політехніка»

e-mail: dyadenchukalena@gmail.com, тел: (066)828-85-19

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ZnO І TiO₂

Анотація. У статті розглянуто одноперехідні конфігурації сонячних елементів, що являють собою гетероструктури з оксидними плівками ZnO і TiO₂ в якості електронного транспортного матеріалу та напівпровідникові підкладки Si, GaAs та CIGS в якості поглинального матеріалу. З використанням чисельного інструменту моделювання сонячних елементів програми wxAMPS отримано фотовольтаїчні параметри (фактор заповнення, напруга холостого ходу, щільність струму короткого замикання та ККД) гетеропереїдних фотоелектричних перетворювачів ZnO/Si, ZnO/GaAs, ZnO/CIGS, TiO₂/Si, TiO₂/GaAs, TiO₂/CIGS. Максимальне значення ефективності 24,84 % отримано при моделюванні параметрів структури ZnO/GaAs. Розраховано температурні залежності ККД досліджуваних фотоперетворювачів у межах температур 280-330 К. Встановлено, що зміна ефективності фотоперетворювачів на основі гетероструктур ZnO/Si і TiO₂/Si при зміні температури становить 3,31% і 3,43% відповідно, для інших розглянутих структур дана величина не перевищує 2,7 %.

Ключові слова: сонячний елемент, гетеропереїд, напівпровідники, комп'ютерне моделювання, wxAMPS.

Постановка проблеми. Сонячна енергетика відноситься до найбільш перспективних відновлювальних джерел енергії. Однак для максимального використання всіх можливостей даного джерела енергії необхідно розвивати технології фотовольтаїки, яка має великий потенціал. На сьогодні основною задачею фотовольтаїки є здешевлення електричної енергії, що виробляється сонячними елементами (СЕ). Для досягнення цієї мети необхідно підвищувати ефективність та знижувати вартість СЕ. Близько 85 % від загального



обсягу виробництва складають сонячні елементи на основі кремнію. Однак майже половину загальної вартості кремнієвого сонячного модуля складає вартість вихідних кремнієвих пластин, у зв'язку з чим виникає необхідність заміни монокристалічного кремнію або більш тонкими пластинами мультикристалічного Si, або іншими перспективними матеріалами.

Серед одноперехідних сонячних елементів виділяють кремнієві, на основі напівпровідникових з'єднань A₃B₅, A₂B₆, A₁B₃C₆ та змішані [1]. Фотоперетворювачі (ФП) на основі A₃B₅ (GaAs, GaAlAs, GaInAsP, InAs, InSb, InP та інші) володіють майже ідеальними характеристиками, а їх ККД може досягати 30 %. Для оптимізації параметрів сонячних елементів використовується широкий спектр напівпровідникових з'єднань A₃B₅ в різноманітних комбінаціях, але частіше за все знаходять застосування GaAs та InP. Як абсорбційний шар при виробництві фотоперетворювачів може бути використано напівпровідникове з'єднання CIGS (Cu(In,Ga)(Se,S)₂) [2], які на даний момент займають близько 2 % обсягу світового ринку тонкоплівкових сонячних елементів [3].

При виготовленні сонячних елементів в останні десятиліття, завдяки передбаченому високому значенню ефективності, застосовуються елементи на основі напівпровідникових оксидів металів (TiO₂, ZnO, CuO, Cu₂O, SnO₂ та інші). З одного боку, тонкі плівки оксидів широко використовуються як прозорі провідні електроди в сонячних елементах. З іншого ж боку, ці плівки представляють значний інтерес як фотоактивний шар ФП завдяки доброму узгодженню спектрів їх поглинання зі спектрами сонячного випромінювання. Вирізняються серед вищеперерахованих оксидів плівки оксиду цинку та діоксиду титану [4, 5]. Використання тонких плівок ZnO і TiO₂ при виготовленні фотоелементів на основі p-n-переходів може значно підвищити ефективність перетворення сонячної енергії за рахунок розширення діапазону в ультрафіолетову і фіолетову області спектру [6, 7].

Досить перспективним напрямом є дослідження одноперехідних фотоперетворювальних структур, в яких як електронний транспортний матеріал застосовуються оксидні плівки ZnO і TiO₂, а як поглинальний шар – підкладки кремнію Si, арсеніду галію GaAs або селеніду міді-індію-галію CIGS.

Аналіз останніх досліджень. Металооксидні напівпровідники ZnO і TiO₂ мають широку заборонену зону (~3 eV) і високі показники провідності, вони прозорі у видимому діапазоні оптичного спектру, не токсичні та мають невисоку вартість, що дозволяє використовувати їх при виробництві приладів фотовольтаїки [8-11]. На сьогодні багато наукових колективів працює над дослідженнями в області оптимізації



параметрів ФП на основі даних оксидів. При цьому в літературі повідомляється про моделювання значень ефективності для гетеропереходів ZnO/Si та TiO₂/Si в широких межах від 6 % до ~24 %.

Так в роботі [12] отримано ККД 17,16 % ($V_{oc}=675,8$ мВ, $I_{sc}=30.24$ мА/см² і FF=83,96 %) при використанні n-ZnO як електричного випромінювача на підкладці c-Si p-типу провідності, однак досліджувалися структури ZnO:B(n)/ZnO/c-Si(p). R. Pietruszka із співавторами підготували сонячні елементи на основі гетеропереходу атомний шар ZnO/p-Si, що демонструє ефективність 14 % [13]. Згідно імітації в програмі PC1D ефективність $\eta=24,8$ % сонячної енергії гетеропереходу ZnO/Si досягається при значеннях товщини бази 400 мкм, товщини випромінювача 20 мкм, концентрації носіїв заряду $1,1 \cdot 10^{17}$ см⁻³ та $5,1 \cdot 10^{16}$ см⁻³ в базі і випромінювачі відповідно [14]. Діоксид титану досить довгий час досліджувався як просвітлююча плівка для кремнієвих сонячних елементів [15]. Проте авторами праці [16] показано, що нанесення на m-Si нанорозмірного TiO₂ дозволяє значно покращити ефективність сонячних батарей з 17,18 % до 17,87 % при товщині шару TiO₂ 55,2 нм.

Таким чином, запропоновані конструкції сонячних комірок на основі ZnO/Si і TiO₂/Si можуть бути однією з кращих альтернатив звичайним кремнієвим сонячним елементам.

У випадку використання CIGS-підкладок ефективність в 17 % досягається при товщині шару ZnO 100 нм і значенні ширини забороненої зони 3,4 еВ [17]. Можливі маршрути для підвищення виробництва на рівні ефективності 20 % обговорюються в роботі [18]. У дослідженні [19] ефективність перетворення сонячної енергії досягає максимального значення 12,38 % при використанні оксиду індія-олова як віконного оксиду, діоксиду титану TiO₂ як буферного шару n-типу і матеріалу Cu(In,Ga)Se₂.

Дещо вищою є ефективність SE при використанні напівпровідникових з'єднань Al_{0.5}B_{0.5}, і безпосередньо напівпровідника GaAs. Крім високого ККД, дані фотоперетворювачі характеризуються високою стабільністю параметрів та стійкістю до дії навколишнього середовища. Xin Jin та Naiyun Tang після оптимізації сонячних елементів ZnO/GaAs у програмі Silvaco Atlas повідомляють про ефективність перетворення енергії 22,84 % [20]. Трохи нижчим є значення ККД для сонячних елементів на основі структури TiO₂/GaAs [21]. Даний фотоелемент досягає підвищеної щільності струму короткого замикання $J_{sc}=24,82$ мА/см², що призводить до покращення ефективності до значення 19,66 %.

Однак аналіз наукових джерел свідчить, що питання дослідження даних структур все ще залишається відкритим і потребує детального

вивчення з метою подальшої оптимізації конструкцій і підбору максимально ефективних параметрів.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є числове моделювання функціональних характеристик гетероперехідних сонячних елементів на основі плівок оксиду цинку та діоксиду титану, а також розрахунок температурних залежностей ККД.

Основна частина. Для апробації науково-технічних рішень в області оптимізації параметрів конструкцій фотоперетворювачів актуальними є задачі моделювання параметрів сонячних елементів з використанням програмного забезпечення. Для моделювання функціональних характеристик ФП можуть бути застосовані такі програми як AMPS-1D, SCAPS-1D, PC1D, AFORS-HET та інші [22-25]. Вільнорозповсюдженою, простою та ефективною при вивченні СЕ є програма wxAMPS (версія AMPS (Analysis of Microelectronic and Photonic Structures)). Даний програмний засіб дозволив змодельовати функціональні характеристики досліджуваних фотоелементів (рис. 1).

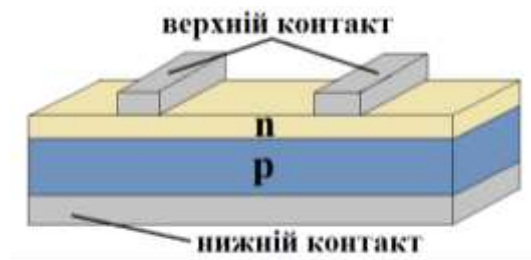


Рисунок 1. Схематичне зображення змодельованих фотоелементів

Значення для входних параметрів шарів, що використовувалися для моделювання ФП, обиралися літературних джерел і числових даних. Деякі з них наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри шарів досліджуваних структур

Матеріал	Товщина шару d, мкм	Концентрація легуючої домішки N, см ⁻³	Ширина забороненої зони E _g , eV	Діелектрична проникність матеріалу ε
ZnO	0,2	1,0·10 ¹⁸	3,30	9,0
TiO ₂		1,0·10 ¹⁷	2,26	10,0
Si	3,0	1,5·10 ¹⁶	1,12	11,9
GaAs		2,0·10 ¹⁷	1,42	10,9
CIGS		2,0·10 ¹⁶	1,15	13,6



Вимірювання параметрів СЕ було проведено при спектрі випромінювання, що відповідає АМ1.5 та інтегральній щільності потоку випромінювання 1000 Вт/м^2 [26]. Температура становила 300 К.

З wxAMPS 3.0 було отримано густину струму короткого замикання J_{SC} , напругу холостого ходу V_{OC} , коефіцієнт заповнення FF і коефіцієнт корисної дії η . Отримані значення занесено до таблиці 2. Вольт-амперні характеристики (ВАХ) досліджених структур представлено на рисунку 2.

Таблиця 2

Фотовольтаїчні параметри досліджуваних структур

Структура	Густина струму короткого замикання J_{SC} , мА/см^2	Напруга холостого ходу V_{OC} , мВ	Фактор заповнення FF, %	ККД η , %
ZnO/CIGS	29,31	0,64	79,54	14,92
ZnO/GaAs	30,07	0,95	86,65	24,84
ZnO/Si	30,66	0,51	79,29	12,29
TiO ₂ /CIGS	29,27	0,63	78,78	14,57
TiO ₂ /GaAs	30,20	0,95	85,37	24,39
TiO ₂ /Si	30,90	0,50	79,72	12,36

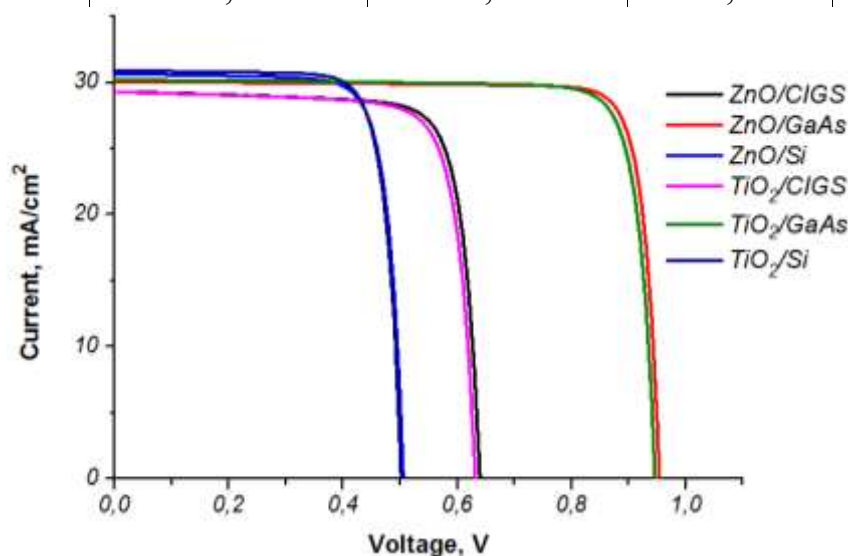


Рисунок 2. Вольт-амперні характеристики сонячних елементів на основі досліджуваних структур

Відповідно до отриманих даних, значення ККД для одного і того ж напівпровідника р-типу при використанні різних напівпровідників n-типу провідності відрізняються на 0,1-0,6 %. Максимальне значення ефективності (24,84 %) отримано при моделюванні параметрів структури ZnO/GaAs, що свідчить про перспективність подальшого вивчення даного гетеропереходу. Це ж спостерігається і в значеннях

фактору заповнення. ККД для сонячних елементів ZnO/Si, ZnO/CIGS, TiO₂/Si, TiO₂/CIGS відповідає значенням, які наведено в літературі.

Однією зі значних проблем експлуатації сонячних елементів в умовах безперервного і прямого падіння сонячного випромінювання є технічне рішення і засоби попередження їх перегріву. Тому доцільним є дослідження впливу температури на вигляд вольт-амперної характеристики сонячних елементів [27]. ВАХ сонячних елементів при різних значеннях температури вказані на рисунку 3, а, в, д і рисунку 3, б, г, ж для ZnO і TiO₂ відповідно. Діапазон температур становив 280-330 К.

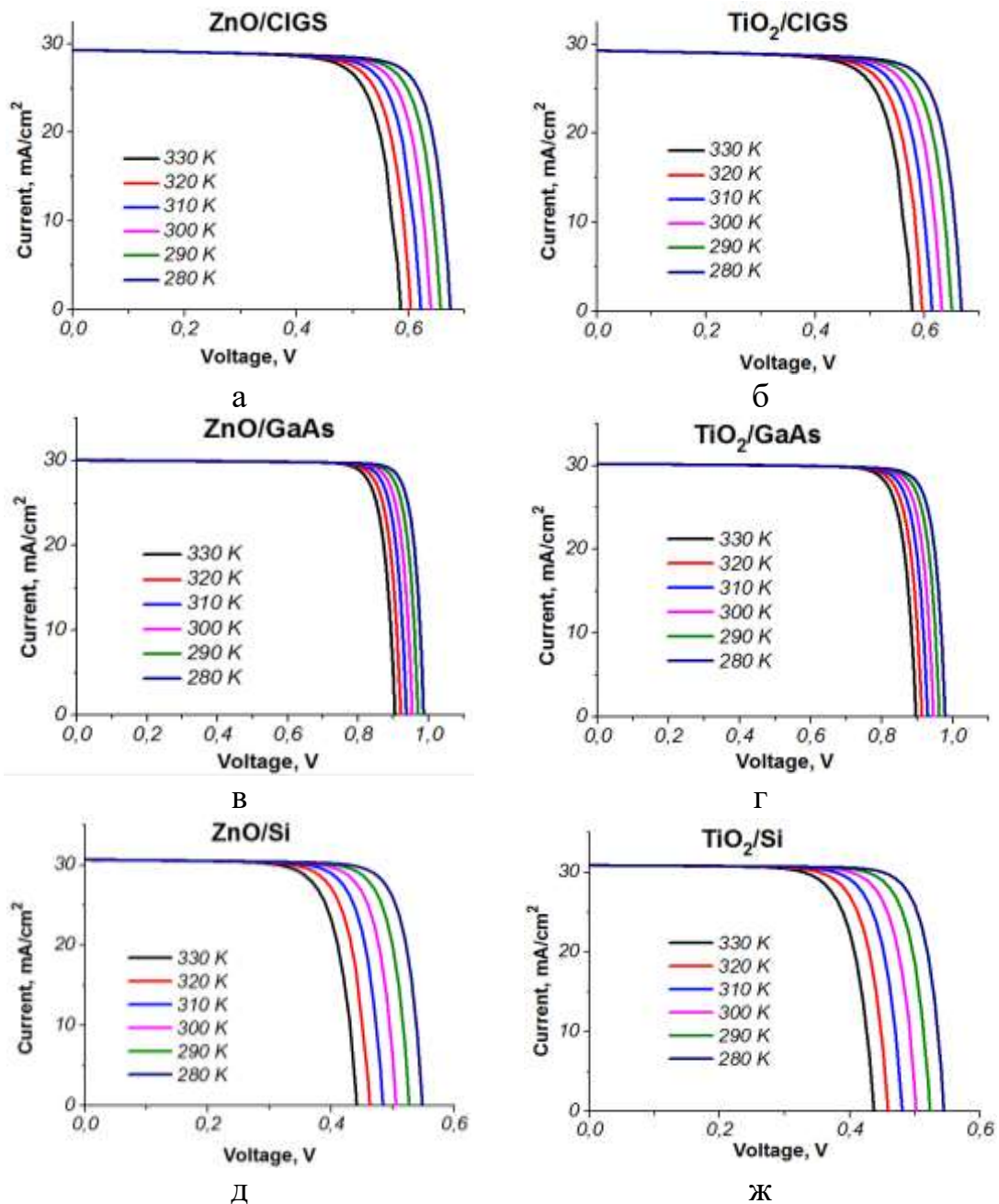


Рисунок 3. Вольт-амперні характеристики сонячних елементів на основі досліджуваних структур при різних значеннях температури

Отримані результати підтверджують, що температура впливає на струм і напругу сонячного елемента. Напруга фотоелементу спадає. Підвищення температури дещо збільшує струм СЕ, що пов'язано зі збудженням великої кількості електронно-діркових пар, проте ця зміна для обраного діапазону температур складає $\sim 0,02$ мА/см².

Зміна струму короткого замикання і напруги призводить до зміни коефіцієнта заповнення й ефективності сонячних елементів. Залежності ККД елементів від температури показано на рисунку 4.

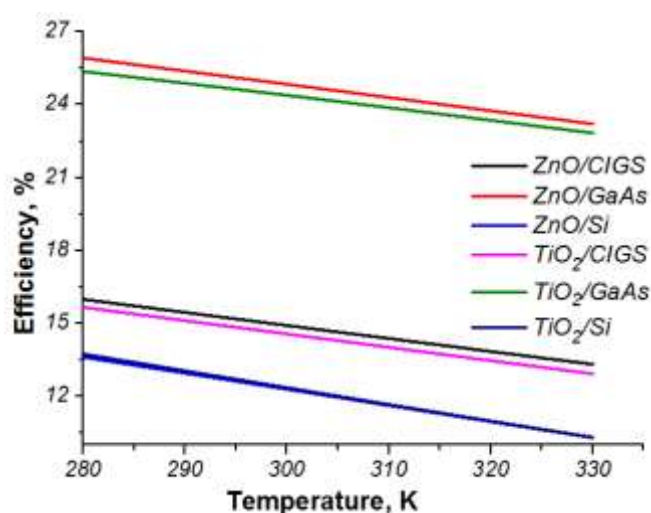


Рисунок 4. Залежність ефективності сонячних елементів від температури

Встановлено, що зміна ефективності фотоперетворювачів на основі гетероструктур ZnO/Si і TiO₂/Si при зміні температури становить 3,31% і 3,43% відповідно. Для решти розглянутих структур зміна ефективності не перевищує 2,7%.

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що оксидні напівпровідники ZnO і TiO₂ є досить перспективними матеріалами фотовольтаїки, а виготовлені на їх основі одноперехідні сонячні елементи можуть бути однією з кращих альтернатив звичайним кремнієвим сонячним елементам. Отримані результати будуть використані на наступних етапах дослідження з оптимізації параметрів структур задля підвищення ефективності фотоперетворювачів та порівнянні отриманих під час моделювання експериментальних світлових характеристик фотоелементів із експериментальними характеристиками.

Список використаних джерел

1. Лобанов В. В., Терebinская М. И., Филоненко О. В., Ткачук О. И. Солнечные элементы на основе органических и органо-



неорганических материалов. *Поверхность*. 2019. Вып. 11(26). С. 270–343. DOI: 10.15407/Surface.2019.11.270

2. Bhuiyan M. A. M., Islam M. S., Datta A. J. Modeling, Simulation and Optimization of High Performance CIGS Solar Cell. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Vol. 57, No.16. P. 26–30.

3. Хрипко С. Л., Кідалов В. В. Сонячні батареї створенні на основі низько-розмірних нанокмпозитних структур. *Журнал нано- та електронної фізики*. 2016. Т. 8, № 4(2). С. 04071-1-04071-10. DOI: 10.21272/jnep.8(4(2)).04071

4. Йулчиев Ш. Х., Бобоев А. Й., Махмудов Х. А. Свойства и применение металлооксидных тонких плёнок в преобразователях энергии. *Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research*. 2021. V. 3, Is. 1. P. 58–62. DOI: 621.315.592.3

5. Дяденчук А. Ф., Кідалов В. В. Гетероструктури n-ZnO:Al/porous-CdTe/p-CdTe в якості фотоелектричних перетворювачів. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2017. Т. 15, № 3. С. 487–494.

6. Kidalov V. V., Dyadenchuk A. F., Khrypko S. L., Khrypko O. S. Investigation the Structures ZnO:Al/SiOx/PorSi/p-Si/Al. *Physics and Chemistry of Solidstate*. 2017. V. 18, № 2. P. 180–183. DOI: 10.15330/pcss.18.2.180–183

7. Johansson W., Peralta A., Jonson B., Anand S., Osterlund L., Karlsson S. Transparent TiO₂ and ZnO thin films on glass for UV modules. *Frontiers in Materials*. 2019. V. 6. P. 259. DOI: 10/3389/fmats.2019.00259

8. Eman M. Nasir, Asmaa N. Mohammed Ali. Characterization of ZnO/GaAs heterojunction. *Iraqi Journal of Physics*. 2019. V. 17, No.43. P. 58-66. DOI: 10.20723/ijp.17.43.58–66

9. Richards B. S. Novel Uses of Titanium Dioxide for Silicon Solar Cells. A thesis submitted as partial fulfillment of the requirement for the Degree of Doctor of Philosophy. 2002. P. 255.

10. Ganesh I., Kumar P., Gupta A., Sekhar P., Radha K., Padmanabham G., Sundararajan G. Preparation and characterization of Fe-doped TiO₂ powders for solar light response and photocatalytic applications. *Processing and application of ceramics*. 2012. V. 17, No.43. P. 21–36. DOI: 10.2298/pac1201021g

11. Hussain B., Ebong A., Ferguson I. Zinc oxide as an active n-layer and antireflection coating for silicon based heterojunction solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2015. V. 139. P. 95–100. DOI: 10.1016/j.solmat.2015.03.017

12. Chen L., Chen X., Liu Y., Zhao Y., Zhang X. Research on ZnO/Si heterojunction solar cells. *Journal of Semiconductors*. 2017. V. 38(5). P. 054005. DOI: 10.108/1674-4926/38/5/054005



13. Pietruszka R., Witkowski B. S., Zielony E., Gwozdz K., Placzek-Popko E., Godlewski M. ZnO/Si heterojunctional solar cell fabricated by atomic layer deposition and hydrothermal methods. *Solar Energy*. 2017. V. 155. P. 1282. DOI: 10.1016/j.solener.2017.07.071

14. Naim H., Shah D. K., Bouadi A., Siddiqui M. R., Akhtar M. S., Kim C. Y. An In-Depth Optimization of Thickness of Base and Emitter of ZnO/Si Heterojunction-Based Crystalline Silicon Solar Cell: A Simulation Method. *Journal of Electronic Materials*. 2022. V. 51. P. 586–593. DOI: 10.1007/s11664-021-09341-5

15. Natsuhara H., Matsumoto K., Yoshida N., Itoh T., Nonomura S., Fukawa M., Sato K. TiO₂ thin films as protective material for transparent-conducting oxides used in Si thin film solar cells. *Solar energy materials and solar cells*. 2006. V. 90(17). P. 2867–2880. DOI: 10.1016/j.solmat.2006.05.001

16. Sagar R., Rao A. Nanoscale TiO₂ and Ta₂O₅ as efficient antireflection coatings on commercial monocrystalline silicon solar cell. *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. V. 862. P. 158464. DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.158464

17. Husna J., Sibuea S. R., Sulaiman O. K., Rafiq Yanhar M., Suhardi N., Nasution A. H., Haramaini T., Nasution M. K., Ambri M., Ahmad Rifqi M. Z. The Prospects Of Zinc Oxide (ZnO) For Window Layer Cigs Solar Cells. In & N. Baba Rahim (Ed.). *Multidisciplinary Research as Agent of change for Industrial Revolution 4.0*. 2019. V. 81. P. 730–738. DOI: 10.15405/epsbs.2020.03.03.85

18. Miguel A. Contreras, Brian Egaas, Ramanathan K., Hiltner J., Swartzlander A., Hasoon F., Rommel Noufi. Progress toward 20% efficiency in Cu(In,Ga)Se₂ polycrystalline thin-film solar cells. *Progress in Photovoltaics*. 1999. V. 7, Is. 4. P. 311-316. DOI: 10.1002/(SICI)1099-159X(199907/08)7:4<311::AID-PIP274>3.0.CO;2-G

19. Chihi A., Boujmil M. F., Bessais B. Investigation on the Performance of CIGS/TiO₂ Heterojunction Using SCAPS Software for Highly Efficient Solar Cells. *Journal of Electronic Materials*. 2017. V. 46. P. 5270-5277. DOI: 10.1007/s11664-017-5547-0

20. Jin X., Tang N. ZnO as an anti-reflective layer for GaAs based heterojunction solar cell. *Materials Research Express*. 2021. V. 8. P. 016412. DOI: 10.1088/2053-1591/abde58

21. Leem J. W., Yu J. S., Jun D.-H., Heo J., Park W.-K. Efficiency improvement of III–V GaAs solar cells using biomimetic TiO₂ subwavelength structures with wide-angle and broadband antireflection properties. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2014. V. 127. P. 43–49. DOI: 10.1016/j.solmat.2014.03.041

22. Froitzheim A., Stangl R., Elstner L., Kriegel M., Fuhs W. AFORS-HET: a computer-program for the simulation of heterojunction solar cells to



be distributed for public use. In *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. 2003. V. 1. P. 279–282.

23. Hussain B., Aslam A., Khan T. M., Creighton M., Zohuri B. Electron Affinity and Bandgap Optimization of Zinc Oxide for Improved Performance of ZnO/Si Heterojunction Solar Cell Using PC1D Simulations. *Electronics*. 2019. V. 8. P. 238. DOI: 10.3390/electronics8020238

24. Дяденчук А. Ф., Иванов В. С. Застосування комп'ютерних технологій при підготовці фахівців в галузі електроенергетики. *Наукові записки молодих учених*. 2021. № 8. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1883/pdf> (дата звернення 25.04.2022)

25. Sawicka-Chudy P., Sibiński M., Wisz G., Rybak-Wilusz E., Cholewa M. Numerical analysis and optimization of Cu₂O/TiO₂, CuO/TiO₂, heterojunction solar cells using SCAPS. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. V. 1033, No.1. P. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1033/1/012002

26. Gueymard C. A., Myers D., Emery K. Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing. *Solar Energy*. 2002. V. 73(6). P. 443. DOI: 10.1016/S0038-092X(03)00005-7

27. Абдувохидов М. К., Гуломов Ж. Ж., Алиев Р., Зияитдинов Ж., Муйдинова М. Цифровое моделирование температурных свойств кремниевых солнечных элементов. *Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo'tkazgich materiallar*. Xalqaro ilmiy anjumani. Toshkent, 2020. С. 108–110.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2022 р.

A. Dyadenchuk¹, Ye. Filipovich²

¹**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

²**National University «Zaporizhzhia polytechnic»**

MODELING THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS BASED ON ZnO AND TiO₂

Summary

The article discusses single-junction configurations of solar cells. These cells are heterostructures with ZnO and TiO₂ oxide films as electronic transport material and semiconductor substrates Si, GaAs and CIGS as absorption material. Using the numeral tools, the modeling of the solar cells of the wxAMPS program obtained photovoltaic parameters (density short circuit current J_{SC} , open circuit voltage V_{OC} , fill factor FF and efficiency η) of heterojunction photoelectric converters ZnO/Si, ZnO/GaAs, ZnO/CIGS, TiO₂/Si, TiO₂/GaAs, TiO₂/CIGS. The values for the input parameters of the layers of heterostructures are taken from literary sources and numerical data. The measurement of the parameters of the solar cells was carried out during the radiation spectrum corresponding to AM1.5 and the integral density of the radiation flow of 1000 W/m². The



temperature was 300 K. The maximum performance value of 24.84 % was obtained for the ZnO/GaAs structure. The minimum efficiency (12.29 %) is obtained for the ZnO/Si structure. The temperature dependences of the efficiency of the studied photoconverters are calculated. The temperature range was 280-330 K. It was confirmed that the voltage of the photocell is inversely proportional to the temperature, but the current was directly proportional. Changing the short circuit current and open circuit voltage leads to a change in the filling coefficient and efficiency of solar cells. An increase in the current of the solar cell associated with the excitation of a large number of electron-free pairs for the selected temperature range is ~ 0.02 mA/cm². Changing the efficiency of photoconverters based on the ZnO/Si and TiO₂/Si heterostructures with a temperature change is 3.31 % and 3.43 %, respectively. For the remaining considered structures, the change in efficiency does not exceed 2.7 %.

Key words: solar cell, heterojunction, semiconductors, computer modeling, wxAMPS.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-21

УДК 303.732.4:338.27:66-9

С. М. Костенко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-0268-8008

О. А. Маяк, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-3059-4589

Н. В. Федак, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-7460-3213

Державний біотехнологічний університет

e-mail: kostenkosm.dbtu@gmail.com; тел.: (068)606-31-65

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СУЧАСНОГО ІНЖИНІРИНГУ

Анотація. В статті розглянуто можливості системного аналізу, а саме імітаційного моделювання, для оцінки ефективності розробленого апарату інфрачервоного жарення. Засобами системно-динамічного моделювання передано динамічну поведінку системи, тобто її функціонування у часі. Це дало можливість уникнути численних ресурсовитратних експериментів завдяки поєднанню аналітичного моделювання з даними проведених експериментів. Програмний комплекс Vensim PLE забезпечив виконання етапів концептуалізації, побудови моделі, імітації, аналізу та оптимізації. Використання імітаційних моделей дозволяє оптимізувати процес виробництва харчової продукції за обраними реакціями шляхом комп'ютерного експерименту зі зміною та комбінуванням значень критеріїв, забезпечуючи якісний продукт. Наведена в роботі як приклад системно-динамічна модель процесу ГЧ-жарення м'ясних напівфабрикатів у апараті АРЖМ-0.07-1 дала змогу виявити закономірності щодо тривалості отримання готового продукту, продуктивності, а також питомих енергоємності, металоємності та витратності розробленого апарату залежно від наявності певних конструктивних особливостей.

Ключові слова: системний аналіз, імітаційне моделювання, інжиніринг, технологічні процеси, апарат інфрачервоного жарення.

Постановка проблеми. Системний аналіз пов'язує та узагальнює всі засоби вдосконалення процесу виробництва харчової продукції, що дозволяє не тільки одержати кількісну оцінку, але й визначити шляхи оптимізації [1, 2].

Імітаційне моделювання є адекватним інструментом аналізу складних систем зі слабо формалізованими елементами, до яких можна віднести системи харчових виробництв. Імітаційне дослідження



дозволяє поєднувати особливості експериментального підходу і специфіку засобів комп'ютерної підтримки.

Головні задачі створення імітаційної моделі – це реалізація динаміки процесу, який здійснюється у системі, а також визначення зовнішніх умов, за яких оптимізується модельний відгук. Використання імітаційних моделей дозволяє оптимізувати процес виробництва харчової продукції за обраними реакціями шляхом комп'ютерного експерименту зі зміною та комбінуванням значень критеріїв, забезпечуючи якісний продукт [3, 4].

Метод системної динаміки переважно орієнтований на якісне експериментування, що не виключає проведення класичного кількісного експерименту на основі одного з обраних планів з метою побудови регресійних моделей, які пов'язують обрану вихідну змінну з екзогенними факторами, або оптимізації поверхні відгуку, тобто пошуку комбінації значень керованих екзогенних параметрів, які дозволяють максимізувати або мінімізувати значення обраної ендогенної змінної.

Програмний комплекс Vensim PLE забезпечує виконання етапів концептуалізації, побудови моделі, імітації, аналізу та оптимізації. Vensim має підґрунтям потокову концепцію системної динаміки, за якої об'єкт – це динамічна система, що складається з накопичувачів, пов'язаних між собою керованими потоками. Кількісно кожний накопичувач описується рівнем його змісту, а кожний потік – темпом переміщення на основі інформації про вміст резервуарів [5].

Застосування математичних моделей в харчовій інженерії ускладнюється об'єктивними особливостями процесів харчових виробництв – складністю структури багатьох процесів, відсутністю їх формалізованого описання, а також системного підходу до вибору оцінок і принципів удосконалення технологічних ліній. Ефективні методи удосконалення процесів харчових виробництв можуть бути розроблені лише на основі комплексного, або системного підходу до проблеми.

Основне завдання системного підходу – виявлення нових властивостей цього поєднання, не властивих жодному елементові окремо. Отже, види інжинірингових послуг, а саме послуги, пов'язані з підготовкою виробничого процесу (передпроектні, проектні, післяпроектні), послуги щодо забезпечення ефективності наявного виробництва та реалізації виготовленої продукції (роботи, спрямовані на оптимізацію процесів експлуатації, поліпшення функціонування технологічних ліній, залучення до інформаційних систем, поліпшення матеріально-технічного постачання, менеджменту та маркетингу, підбору і підготовки кадрів, а також поради з фінансової політики) можна ефективно реалізовувати із застосуванням імітаційного



моделювання.

Аналіз останніх досліджень. Системний аналіз широко застосовується в багатьох сферах: банківських та фінансових установах, органах державного управління, проектно-конструкторських та науково-дослідницьких організаціях. З цього приводу є велика кількість наукових публікацій, які демонструють переваги та універсальність методів системного моделювання [6–8]. Але застосування імітаційного моделювання для прогнозування та оптимізації технологічних процесів та їх апаратного забезпечення з використанням програмного комплексу Vensim PLE є достатньо інноваційним підходом, який знайшов своє відображення у деяких роботах [9, 10]. Тому актуальним науковим завданням є подальший розвиток застосування системного аналізу, а саме імітаційного моделювання як інструменту сучасного інжинірингу.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Шляхом імітаційного моделювання з використанням програмного комплексу Vensim PLE виконати системно-динамічне оцінювання ефективності розробленого апарату інфрачервоного жарення з відбивачем променевого потоку АРЖМ-0.07-1.

Основна частина. Розроблений апарат із відбивачем променевого потоку АРЖМ-0.07-1 застосовується для інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів. Використання відбивача забезпечує рівномірну густину променевого потоку на поверхні продукту.

Комплексне оцінювання ефективності розробленого апарату інфрачервоного жарення з відбивачем променевого потоку АРЖМ-0.07-1 проводили в такий спосіб.

Одиницею виміру часу в моделі була хвилина, що відповідало терміну найменшої затримки. Термін моделювання складав 15 хвилин. Загальний вигляд моделі наведено на рисунку 1.

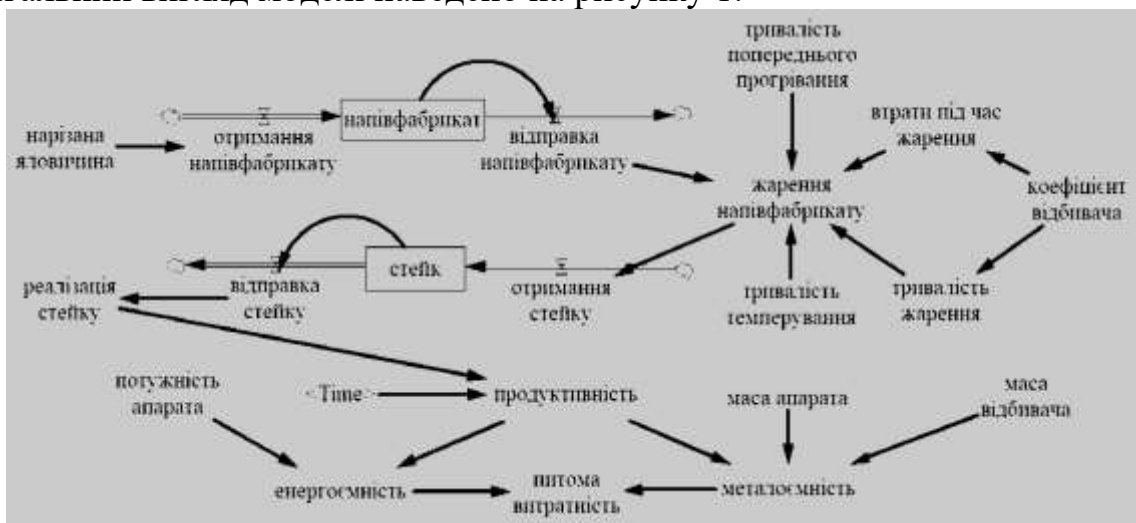


Рисунок 1. Імітаційна модель оцінювання ефективності апарату



Було зроблено такі припущення:

- поставка яловичини була разовою пульсуючою;
- затримки на операціях відповідали рекомендаціям з експлуатації;
- тривалості теплової обробки відповідала типовому обладнанню;
- втрати на операціях відповідали експериментальним дослідженням;
- якість продукту незмінно висока.

Рівні «напівфабрикат» та «стейк» визначалися відповідною різницею керованих потоків – вхідного потоку отримання та вихідного потоку відправки. Отримання напівфабрикату визначалося нарізаною яловичиною, отримання стейку – жаренням напівфабрикату. Відправка напівфабрикату визначалася рівнем «напівфабрикат», відправка стейку – рівнем «стейк».

Екзогенні змінні:

- масові компоненти (нарізана яловичина, маса апарата, маса відбивача);
- енергетичні компоненти (потужність апарата, коефіцієнт відбивача (рис. 2), тривалість попереднього прогрівання, тривалість темперування).

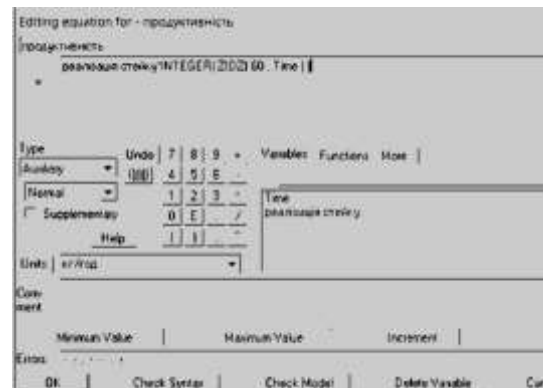
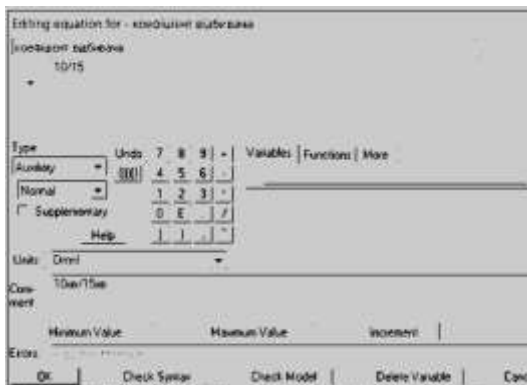


Рисунок 2. Змінні «коефіцієнт відбивача» та «продуктивність»

Ендогенні змінні:

- втрати під час жарення визначалися добутком 0.33 (33 %) та коефіцієнта відбивача;
- тривалість жарення визначалася добутком 10 хв та коефіцієнта відбивача;
- жарення напівфабрикату визначалося фіксованою затримкою відправки напівфабрикату на суму тривалостей попереднього прогрівання, жарення та темперування;
- продуктивність визначалася об'ємом реалізації стейку за годину (рис. 2);



– питома енергоємність визначалася відношенням потужності апарата до продуктивності;

– питома металоємність визначалася відношенням суми мас апарата та відбивача до продуктивності.

Реакцією моделі була питома витратність, яка визначалася множенням питомих енергоємності та металоємності.

Було використано наступні рівні факторів:

- нарізана яловичина складалася з півфабрикату масою 0.4 кг;
- маса апарата складала 3.5 кг;
- маса відбивача складала 0.5 кг;
- тривалість попереднього прогрівання становила 2 хв;
- тривалість темперування становила 2 хв;
- потужність випромінювача становила 1000 Вт;
- коефіцієнт відбивача становив 10/15, тобто відношення тривалості жарення напівфабрикату в експериментальному апараті з відбивачем (10 хв) до тривалості жарення без відбивача (15 хв).

Експеримент проводився без відбивача (коефіцієнт відбивача 1, маса відбивача 0 кг) та з відбивачем (коефіцієнт відбивача 10/15, маса відбивача 0.5 кг). Використання відбивача призвело до наступних результатів:

– скорочення часу отримання продукту на $14 / 11 - 1 = 1.27 - 1 = 0.27$, тобто 27 % (рис. 3–7);

– збільшення реалізації стейку на $0.31 / 0.27 - 1 = 1.15 - 1 = 0.15$, тобто 15 % (рис. 3);

– збільшення продуктивності на $1.56 / 1.07 - 1 = 1.46 - 1 = 0.46$, тобто 46 % (рис. 4);

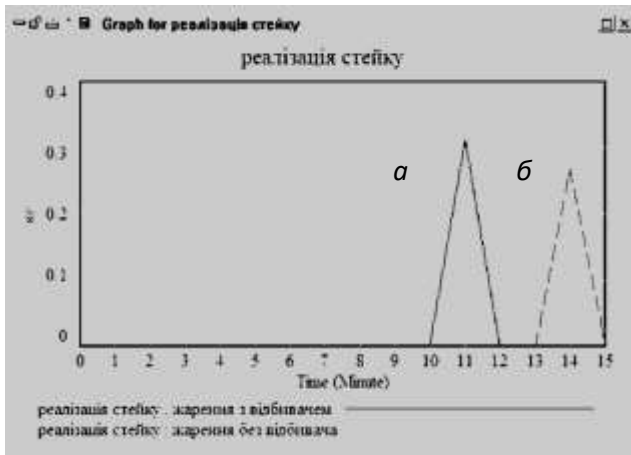
– зменшення питої енергоємності на $0.94 / 0.64 - 1 = 1.47 - 1 = 0.47$, тобто 47 % (рис. 5);

– зменшення питої металоємності на $3.28 / 2.57 - 1 = 1.28 - 1 = 0.28$, тобто 28 % (рис. 6);

– зменшення питої витратності на $3.08 / 1.65 - 1 = 1.87 - 1 = 0.87$, тобто 87 % (рис. 7).

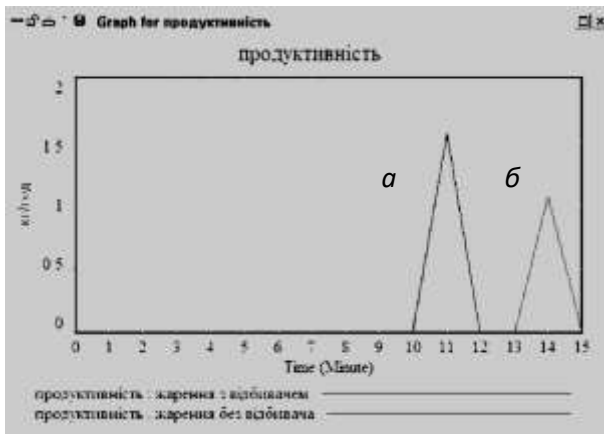
Системно-динамічне моделювання процесу ІЧ-жарення м'ясних напівфабрикатів у апараті АРЖМ-0.07-1 уможливило наступні висновки:

- час отримання продукту скоротився на 27 %;
- продуктивність ІЧ-жарення зросла на 46 %;
- питома енергоємність ІЧ-жарення скоротилася на 47 %;
- питома металоємність ІЧ-жарення скоротилася на 28 %;
- питома витратність ІЧ-жарення скоротилася на 87 %.



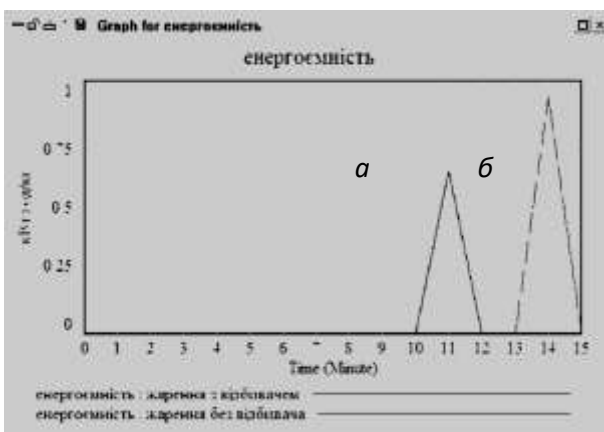
Time (Minute)	реалізація стейку	реалізація стейку
0	стейку	0
1	Runs	0
2	жарення з	0
3	відбивачем	0
4	жарення без	0
5	відбивача	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	<i>a</i>	<i>б</i>
10	0	0
11	0.311111	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0.266667
15	0	0

a – жарення з відбивачем, *б* – жарення без відбивача
Рисунок 3. Реалізація стейку (кг):



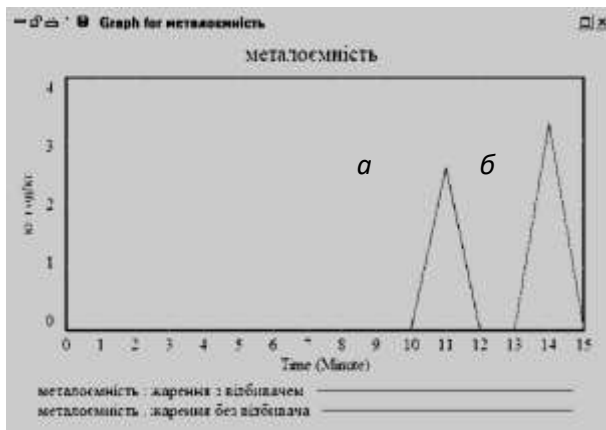
Time (Minute)	продуктивність	продуктивність
0	сть	Runs
1	жарення з	0
2	відбивачем	0
3	жарення без	0
4	відбивача	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	<i>a</i>	<i>б</i>
10	0	0
11	1.555556	0
12	0	0
13	0	0
14	0	1.066667
15	0	0

a – жарення з відбивачем, *б* – жарення без відбивача
Рисунок 4. Продуктивність (кг / год)



Time (Minute)	енергоємність	енергоємність
0	ть	Runs
1	жарення з	0
2	відбивачем	0
3	жарення без	0
4	відбивача	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	<i>a</i>	<i>б</i>
10	0	0
11	0.642857	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0.928571
15	0	0

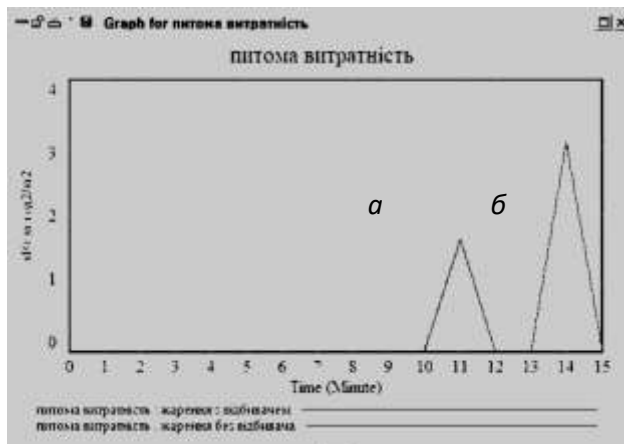
a – жарення з відбивачем, *б* – жарення без відбивача
Рисунок 5. Питома енергоємність (кВт год / кг)



Time (Minute)	металоємність: жарення з відбивачем	металоємність: жарення без відбивача
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	2.57143	0
12	0	0
13	0	0
14	0	3.25125
15	0	0

a – жарення з відбивачем, *b* – жарення без відбивача

Рисунок 6. Питома металоємність (кг год / кг):



Time (Minute)	питома витратність: жарення з відбивачем	питома витратність: жарення без відбивача
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	1.65306	0
12	0	0
13	0	0
14	0	3.0761
15	0	0

a – жарення з відбивачем, *b* – жарення без відбивача

Рисунок 7. Питома витратність (кВт кг год² / кг²)

Висновки. Таким чином, шляхом імітаційного моделювання проведено системно-динамічне оцінювання ефективності апарата АРЖМ-0.07-1 порівняно з пристроєм без рефлектора. Визначено, що використання відбивача променевого потоку у апараті АРЖМ-0.07-1 скорочує час отримання продукції на 27 %, збільшує продуктивність ПЧ-жарення на 46 %, зменшує питому енергоємність ПЧ-жарення на 47 %, питому металоємність на 28 %, питому витратність на 87 %.

Список використаних джерел

1. Пивоваров П. П. та ін. *Теоретичні основи харчових технологій*. Х.: ХДУХТ, 2010. 363 с.
2. Перцевий Ф. В. та ін. *Технологія продукції харчових виробництв*. Х.: ХДУХТ, 2006. 318 с.
3. Стеценко І. В. *Моделювання систем*. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.
4. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. *Основи системного*



аналізу. К.: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.

5. Меркулова Т. В., Биткова Т. В., Кононова Е. Ю. *Экономико-математическое моделирование*. Х.: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2011. 276 с.

6. Merkulova T., Bitkova T. and Kononova K. Tax Factors of Sustainable Development: System Dynamics Approach towards Tax Evasion Analyses. *Rivista di studi sulla sostenibilita*. 2016. Volume 2016, Issue 1. P. 35–47.

7. Weller F., Sherley R., Weller L., Ludynia K., Geldenhuys D., Shannon L. and Jarre A. System dynamics modelling of the Endangered African penguin populations on Dyer and Robben islands, South Africa. *Ecological Modelling*. 2016. Vol. 327: 44–56. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.01.011

8. Mosai A., Tokwana B. and Tutu H. Computer simulation modelling of the simultaneous adsorption of Cd, Cu and Cr from aqueous solutions by agricultural clay soil: A PHREEQS geochemical modelling code coupled to parameter estimation (PEST) study. *Ecological Modelling*. 2022. Vol. 465. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2022.109872

9. Kostenko S., Fedak N., Mayak O. Simulation of the radiant heat transfer process in the elements of roasting equipment. *ScienceRise*. 2020. No. 5 (70). Pp. 80-88. doi: 10.21303/2313-8416.2020.001474

10. Черевко О. І., Маяк О. А., Костенко С. М., Сардаров А. М. Оцінка тепломасообмінного обладнання шляхом імітаційного моделювання. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Том 25, № 5. С. 64–73. doi: 10.24263/2225-2924-2019-25-5-8

Стаття надійшла до редакції 20.04.2022 р.

S. Kostenko, O. Mayak, N. Fedak
State biotechnological university

SYSTEM ANALYSIS AS A MODERN ENGINEERING TOOL

Summary

The article considers the possibilities of system analysis, namely simulation modeling, to evaluate the effectiveness of the developed infrared frying apparatus. By means of system-dynamic modeling, the dynamic behavior of the system, that is, its functioning in time, is transmitted. This made it possible to avoid numerous resource-intensive experiments due to the combination of analytical modeling with the data of the experiments. The Vensim PLE software package provided the stages of conceptualization, model building, simulation, analysis and optimization. Vensim introduces the flow concept of system dynamics, in which an object is a dynamic system consisting of drives connected by controlled flows. The main tasks of creating a simulation model are the implementation of the dynamics of the process carried out in the system, as well as determined the external conditions under which the model response is optimized. The use of simulation models allows you to optimize the process of food production according to the selected reactions through a computer experiment with changing and combining criteria, providing a quality product. The theory of systems makes it possible to consider in aggregate the



regularities of each technological operation and to coordinate them with the ultimate goal of the technological lines functioning. The systematic approach linked and generalized all the mines of improving the technological process and the infrared frying apparatus, which made it possible not only to obtain a quantitative assessment, but also determined the ways of introducing it into production. The system-dynamic model of the process of semi-finished meat products infrared frying in the ARZhM-0.07-1 apparatus, given in this study as an example, made it possible to identify patterns in the durations of the product preparation to readiness, productivity, as well as specific energy consumption, metal consumption and cost of the developed apparatus, depending on the presence of certain design features.

Key words: system analysis, simulation, engineering, technological processes, infrared frying apparatus.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-22

УДК 004.942

Є. А. Гавриленко, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0003-4501-445X

Ю. В. Холодняк, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8966-9269

М. Ю. Мірошніченко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4596-3110

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: yuliya.kholodnyak@tsatu.edu.ua, тел.: (097)618-90-03

АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВИМІРНИХ ОБВОДІВ ЗА ЗАДАНИМИ УМОВАМИ

Анотація. В роботі розглядається розробка способів формування плоского та просторового гладкого обводу з регулярною зміною значень кривини та скруту. Основна вимога до поверхонь виробів, які взаємодіють із середовищем, - забезпечення заданого характеру їх обтікання. Функціональні якості поверхні забезпечуються її геометричними характеристиками. Ламінарний характер обтікання поверхонь можна забезпечити за рахунок монотонної зміни значень кривини, скруту, радіусів стичних сфер уздовж ліній, що входять у визначник поверхні. Вихідними даними для формування лінійних елементів каркасу поверхні є вихідний точковий ряд і геометричні властивості кривої. Розроблено методи формування плоских і просторових кривих із закономірною зміною характеристик на основі довільного точкового ряду. На кожній ділянці, яка обмежена послідовними точками, визначається область, всередині якої розташовані всі криві лінії, що відповідають умовам задачі. Отримана крива, яка представлена новим точковим рядом вважається сформованою, якщо область її можливого розташування не перевищує заданої величини.

Ключові слова: обвід, диференціально-геометричні характеристики, радіус кривини, значення скруту, хід кривої, монотонність зміни характеристик.

Постановка проблеми. На етапі розвитку машинобудування актуальною є задача моделювання поверхонь на основі масиву точок. Координати точок можуть бути отримані в результаті вимірів на реальних фізичних зразках або розраховані, виходячи з умов роботи виробу. Процес моделювання поверхні включає наступні етапи:

- на основі вихідного точкового масиву формується дискретний



лінійчатий каркас поверхні, лінійні елементи якого представлені точковим рядом;

- формуються безперервні обводи, які інтерполюють отримані точкові ряди;

- в системі автоматизованого проектування на основі сформованого лінійчатого каркасу створюється модель поверхні виробу;

- отримана комп'ютерна модель використовується в якості вихідних даних для створення управляючої програми з обробки виробу на верстаті з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Основна вимога до поверхонь виробів, що взаємодіють із середовищем, – забезпечення заданого характеру їх обтікання середовищем [1-3]. С геометричної точки зору функціональні якості поверхні забезпечуються її геометричними характеристиками. Ламінарний характер обтікання поверхонь можна забезпечити за рахунок монотонної зміни значень кривини, скруту, радіусів стичних сфер уздовж ліній, які складають визначник поверхні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При формуванні каркасу поверхні виникає задача інтерполяції точкових рядів. Задача інтерполяції може бути розв'язана методами безперервного та дискретного геометричного моделювання.

Існуючі методи [4-7] безперервної інтерполяції (метод шматково-гладких наближень, кривих Безье, В-сплайн) не забезпечують заданий характер зміни диференціально-геометричних характеристик уздовж кривої.

Методи формування кривих ліній із закономірною зміною характеристик запропоновані у роботах [8-11]. Вихідними даними для формування кривої є точковий ряд та її геометричні властивості. Таку криву називатимемо дискретно представленою кривою (ДПК).

Вихідний точковий ряд розбивається на ділянки, які можна інтерполювати ДПК постійного ходу, вздовж якої радіуси кривизни і сфер, що стикаються, монотонно змінюються. Такі ділянки кривих називатимемо монотонними.

Для оцінки значень диференціально-геометричних характеристик у вузлах ДПК використовуються критерії, запропоновані у роботі [8]. Вимоги до призначення конкретних значень характеристик у вихідних точках, при яких задача має розв'язок, визначені в роботі [9]. Умовами моделювання кривої є монотонна зміна значень кривини, скруту, радіусів стичних сфер вздовж ДПК.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є розробка способів формування плоского та просторового гладкого обводу з регулярною зміною значень кривини та скруту.

Основна частина. Метод, що розробляється, передбачає

формування одновимірних обводів на основі області їх можливого розташування. Ця область визначається виходячи з заданих геометричних властивостей обводу.

Обвід формується у вигляді дискретно представленої кривої (ДПК), яка представлена впорядкованим рядом точок. Плоска ДПК формується у вигляді точкового ряду, що складається з скільки завгодно великої кількості точок. Це вихідні точки і точки згущення, положення яких визначаються виходячи з умов, що накладаються на криву, що формується.

Перед згущенням проводиться аналіз вихідного точкового ряду, в результаті якого визначаються ділянки, на основі яких може бути сформована крива з монотонною зміною кривини. Отримані ділянки формуються окремо та стикуються між собою. Положення точок згущення визначаються з координат вихідних точок і вимог, які накладаються на обвід. Такими умовами є відсутність осциляції, регулярність положень дотичних і значень кривини, монотонна зміна радіусів кривини вздовж кривої.

Радіуси кривизни в точках ДПК оцінюються за допомогою радіусів кривини кривої Безьє $(\vec{R}_i, \overleftarrow{R}_i)$ для якої контрольні точки, що її задають, збігаються з вершинами базисного трикутника (БТ). БТ обмежений дотичними до ДПК, які проходять через послідовні точки та хордою, яка з'єднує ці точки (рис. 1).

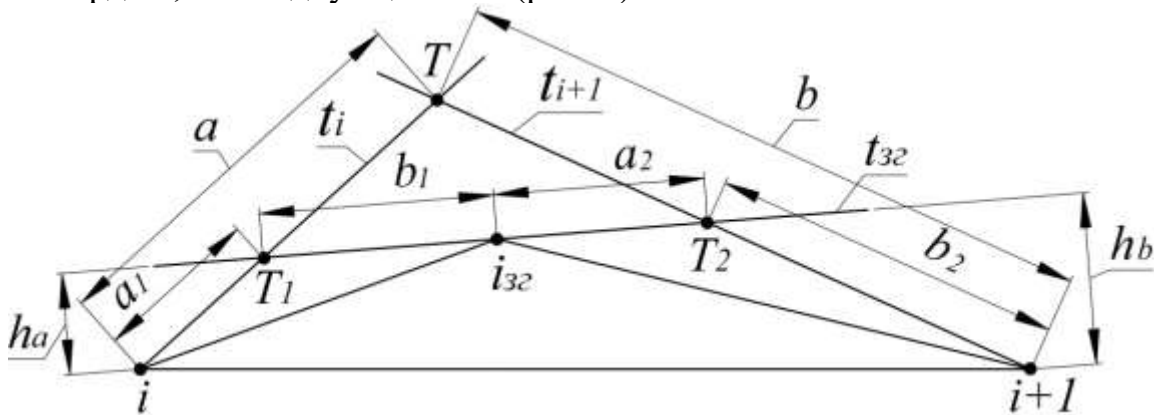


Рисунок 1. Формування БТ згущення

Значення радіусів кривини в точках i та $i+1$ оцінюються за формулами:

$$\vec{R}_i = \frac{a^3}{S}, \quad \overleftarrow{R}_{i+1} = \frac{b^3}{S}, \quad (1)$$

де $a = |i; T|$ та $b = |T; i+1|$ - довжини сторін БТ $(i; T; i+1)$; S - площа БТ.

На кожному кроці згущення всередині вихідного БТ призначається положення точки згущення (i_{32}) та дотичної до обводу в



цій точці (t_{32}). В результаті отримуємо два БТ згущення ($i; T_1; i_{32}$) та ($i_{32}; T_2; i+1$).

Схема згущення точкового ряду дозволяє забезпечити призначені значення радіусів кривини у точках ДПК. Для цього точки згущення всередині БТ призначаються таким чином, щоб значення радіусів кривини \vec{R}_i^{32} та $\overset{\leftarrow}{R}_i^{32}$ у точках i та $i+1$, які визначають БТ згущення, були рівними значенням R_i та R_{i+1} , призначеним у цих точках, тобто $\vec{R}_i^{32} = R_i$ та $\overset{\leftarrow}{R}_i^{32} = R_{i+1}$.

Для того, щоб забезпечити регулярність зміни значень кривини необхідно контролювати, щоб значення \vec{R}_i^{32} та $\overset{\leftarrow}{R}_i^{32}$, які у загальній точці визначають БТ($i; T_1; i_{32}$) і БТ($i_{32}; T_2; i+1$), були рівними. Враховуючи параметри БТ, ця умова має вигляд

$$\frac{b_1^2}{a_2^2} = \frac{h_a}{h_b}, \quad (2)$$

де $a_1 = |i; T_1|$ та $b_2 = |T_2; i+1|$ – довжини сторін БТ($i; T_1; i_{32}$) та БТ($i_{32}; T_2; i+1$) відповідно; h_a та h_b – відстані від точок i та $i+1$ до дотичної t_{32} .

Призначення положень дотичних у вихідних точках відповідно до умови (2) дозволяє після кожного кроку згущення формувати обвід як складову криву з дуг кривих Безьє, які стикаються із забезпеченням спільного стичного кола в точці стикування. При цьому кожна ділянка кривої Безьє, обмежена послідовними точками, може мати ділянку зростання та ділянку зменшення радіусів кривини.

Для того, щоб забезпечити монотонність зміни кривини вздовж ДПК, запроваджено додаткові умови. У вихідних точках положення дотичних призначаються так, щоб всередині кожного БТ можна було сформувати монотонну ДПК. У процесі згущення контролюється виконання умов $\vec{R}_i^{32} < \vec{R}_{i+1}^{32}$ та $\overset{\leftarrow}{R}_{i+1}^{32} < \overset{\leftarrow}{R}_i^{32}$, які через параметри БТ виражаються наступним чином

$$a_1 < b_1 \text{ та } a_2 < b_2. \quad (3)$$

В результаті на кожному кроці згущення значення радіусу кривини, яке визначається в точці параметрами БТ, більше значення радіусу кривини в попередній точці і менше, ніж у наступній. Таким чином, в результаті послідовних згущень отримуємо однопараметричну множину точок, в кожній точці якої існує єдине стичне коло. Радіуси дотичних кіл монотонно змінюються вздовж ДПК.

Формування просторової ДПК за допомогою методу, що

розробляється, передбачає обов'язковий аналіз характеристик вихідного точкового ряду. Кожні три послідовні точки визначають площину (рис. 2). Ці площини називатимемо прилягаючими площинами (ПП).

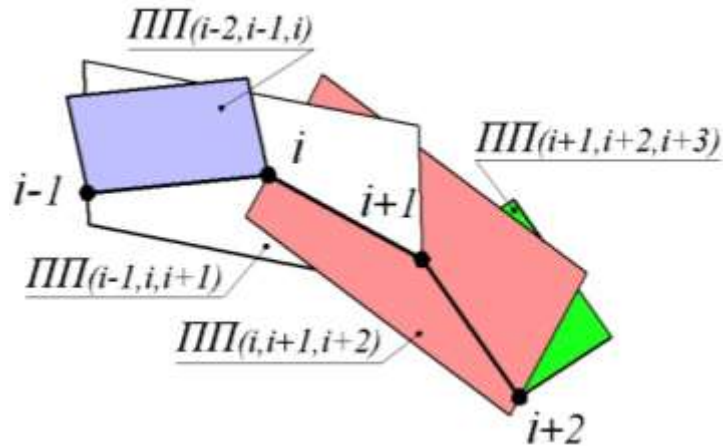


Рисунок 2. Схема розташування прилягаючих площин уздовж кривої

Необхідно, щоб кут між суміжними ПП (φ_i), всередині якого розташовується ділянка ДПК, не перевищував 180° . В цьому випадку напрям повороту i -ої ПП щодо хорди $[i; i+1]$ на кут φ_i до суміщення з $i+1$ -ою ПП збігається із напрямком ходу ДПК.

Чотири послідовні ПП, що проходять через i -ту та $i+1$ -у точки обмежують тетраедр. Цей тетраедр є областю можливого розташування ДПК постійного ходу на ділянці $(i, i+1)$. Ланцюг тетраедрів, визначених на всіх ділянках, є областю розташування гладкої кривої лінії постійного ходу, що інтерполює вихідний точковий ряд.

Дотична до ДПК (t_i) розташовується всередині двох суміжних двограних кутів: φ_i та φ_{i+1} . Положення дотичної t_i визначається площинами, що є дотичними до ДПК у точці i та такими, що проходять через попередню ($i-1$) та наступну ($i+1$) вихідні точки.

Положення дотичних площин призначається зі значень дискретного скруту на ділянках ДПК, які визначаються характеристиками вихідного точкового ряду. У першому наближенні скрут на ділянці $i \dots i+1$ оцінюватимемо величиною $B_i^\varphi = \frac{3\varphi_i}{h_{i-1} + h_i + h_{i+1}}$, де φ_i – кут між суміжними прилеглими площинами; $h_i = |i; i+1|$ – довжина хорди СЛЛ.

Після призначення дотичних площин дискретний скрут на i -й ділянці ДПК визначається за формулою $B_i^\psi = \frac{3\psi_i}{h_i}$. Положення дотичних площин $КП(t_i, i+1)$ та $КП(i, t_{i+1})$ (рис. 3) призначаються виходячи з умови $B_i^\varphi = B_i^\psi$.

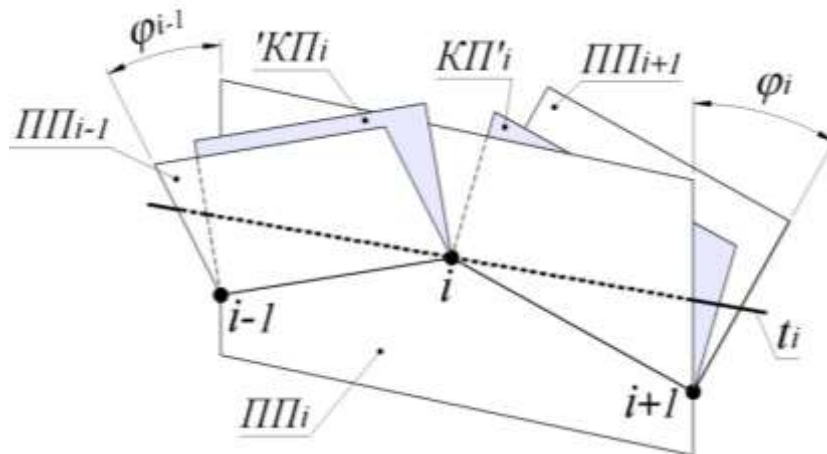


Рисунок 3. Визначення положення дотичних прямих та площин

Площини $КП(i-1, t_i)$ та $КП(t_i, i+1)$, що дотичні до ДПК в одній точці, обмежують діапазон w^i (рис. 4) можливого розташування стичної площини ($СП_i$). Положення $СП_i$ призначається таким чином, щоб вона розділяла двограний кут w_i на кути w_i' та w_i'' у співвідношенні $\frac{w_i'}{w_i''} = \frac{\psi_{i-1}}{\psi_i}$.

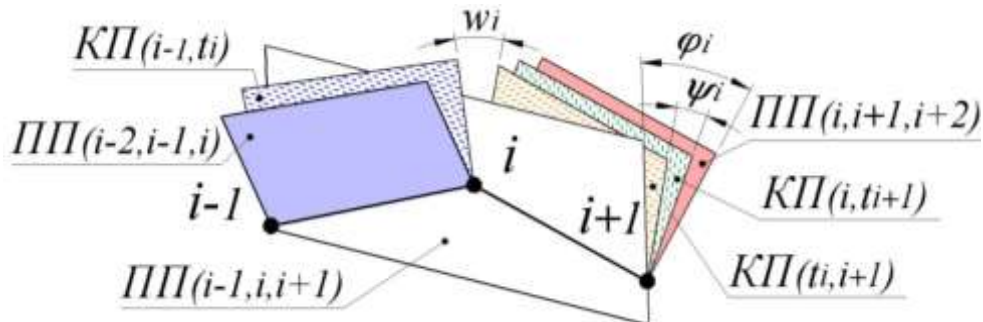


Рисунок 4. Діапазон розташування площини, що дотикається.

Після призначення дотичних площин отримуємо ще один критерій оцінки скруту на ділянках ДПК $B_i^w = \frac{3w_i}{h_{i-1} + h_i}$.

При формуванні ДПК, вздовж якої значення кручення монотонно зростають, положення дотичних площин має забезпечувати виконання умов:

$$\dots < B_{i-1}^w < B_i^w < B_{i+1}^w < \dots \quad (4)$$

Призначення дотичних та стичних площин уточнює тетраedr розташування ДПК. В результаті отримуємо новий ланцюг тетраедрів, грані яких належать дотичним кривим та дотичним площинам. Цей ланцюг тетраедрів – область можливого розташування гладкої ДПК постійного ходу, у вузлах якої призначено положення основних тригранників.

Точка згущення призначається всередині тетраедра розташування ДПК. Вихідний діапазон розташування точки i_{32} на ділянці $i...i+1$ - відрізок $[T_i; T_{i+1}]$, що належить прямій перетину дотичних площин $КП(t_i, i_{32})$ та $КП(i_{32}, t_{i+1})$ (рис. 5).

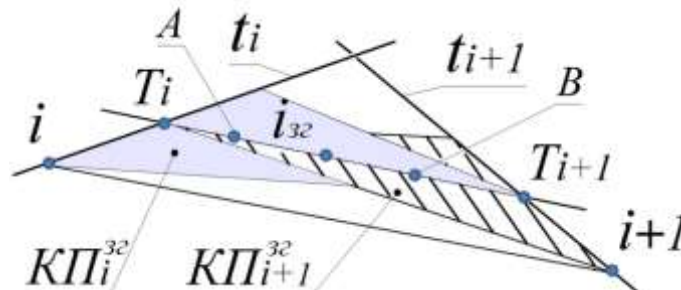


Рисунок 5. Визначення діапазону розташування точки згущення

Призначення i_{32} в межах відрізка $[T_i; T_{i+1}]$ забезпечує призначену динаміку зміни значень дискретного скруту вздовж ДПК, що отримується в результаті згущення. Конкретне положення i_{32} визначається з умови монотонної зміни значень радіусів кривини вздовж ДПК.

Ділянки, вздовж яких радіуси кривини змінюються монотонно, визначаються виходячи з характеристик вихідного точкового ряду. Наприклад, для формування ДПК, уздовж якої радіуси кривини монотонно зростають, має виконуватися умова

$$\dots < R(i-1, i, i+1) < R(i, i+1, i+2) < \dots \quad (5)$$

де $R(i-1, i, i+1)$ – радіус чісного кола, що проходить через точки $i-1, i, i+1$.

Положення точки згущення на ділянці ДПК з монотонним зростанням радіусів кривини призначається з умови

$$R(i-1, i, i_{32}) < R(i, i_{32}, i+1) < R(i_{32}, i+1, i+2). \quad (6)$$

Точки згущення послідовно призначаються всередині максимального за розмірами тетраедра розташування ДПК. Виконання умов (4) та (6) при призначенні кожної точки згущення забезпечує формування точкового ряду, що належить ДПК з регулярною монотонною зміною значень кривини та скруту.

ДПК вважаємо сформованою, якщо область її можливого розташування: базисний трикутник для плоскої та тетраедр розташування для просторової кривої не перевищують задану точність формування обводу. Після цього обвід може бути представлений ламаною лінією, коробою лінією кіл або В-сплайном, які інтерполюють отриманий точковий ряд.

Висновки. В результаті досліджень отримано такі результати.

1. Розроблено спосіб формування плоских обводів, які із заданою



точністю представляють криві лінії із заданими геометричними характеристиками: регулярна зміна вздовж кривої значень кривини при мінімальній за умовами задачі кількості особливих точок: точок перегину, точок зміни напрямку зростання уздовж кривої значень кривини. Сформовані плоскі обводи утворюють сімейство кривих ліній, що є положенням утворюючої лінії, яка описує при своєму русі поверхню.

2. Розроблено спосіб формування просторових одновимірних обводів, які із заданою точністю представляють криві лінії із заданими геометричними властивостями: регулярна зміна вздовж кривої значень кривини та скруту при мінімальній за умовами задачі кількості особливих точок: точок зміни ходу, точок зміни напрямку зростання уздовж кривої значень кривини. Сформовані просторові обводи утворюють сімейство кривих, що є напрямними лініями, які визначають закон переміщення твірної.

Список використаних джерел

1. Jadhav Y. P., Chougule V. N., Mulay A. V. Free-form surface models generation using reverse engineering techniques – an investigation. *IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering*. 2016. P. 379–385. DOI: 10.9790/1684-15008030311-15.
2. Fooladi M., Foroud A. A. Recognition and assessment of different factors which affect flicker in wind turbine. *IET Renewable Power Generation*. 2016. Vol. 10, no. 2. P. 250–259. DOI: 10.1049/iet-rpg.2014.0419
3. Farhad Hosseini S., Moetakef-Imani B. Innovative approach to computer-aided design of horizontal axis wind turbine blades. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2017. Vol.4, Iss. 2. P. 98–105. DOI: 10.1016/j.jcde.2016.11.001
4. Li H. Geometric error control in the parabola-blending linear interpolator. *Journal of Systems Science and Complexity*. 2013. Vol. 26, Iss. 5. P. 777–798.
5. Pérez-Arribas F., Pérez-Fernández R. A B-spline design model for propeller blades. *Advances in Engineering Software*. 2018. Vol. 118. P. 35–44. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2018.01.005
6. Samreen Sh., Sarfraz M., Hussain M.-Z. A quadratic trigonometric spline for curve modeling. *Plos One*. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208015>
7. Kvasov B. Monotone and convex interpolation by weighted cubic splines. *Advances in Computational Mathematics*. 2014. Vol. 40. P. 91–116. DOI: 10.1007/s10444-013-9300-9
8. Havrylenko Ye., Kholodniak Yu., Halko S., Vershkov O., Miroshnyk O., Suprun O., Dereza O., Shchur T., Śrutek M. (2021) Representation of a Monotone Curve by a Contour with Regular Change in



Curvature. *Entropy (Basel)*. Vol. 23 (7):923. DOI: 10.3390/e23070923

9. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. Iss. 4(91). P. 76–82. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.123921

10. Kholodniak Yu., Havrylenko Ye., Pykhtieieva I., Shcherbyna V. Design of Functional Surfaces in CAD System of SolidWorks via Specialized Software. Modern Development Paths of Agricultural Production. Cham. 2019. P. 63–74. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_7

11. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А., Ивженко А. В., Найдыш А. В. Моделирование участка пространственной монотонной кривой линии. *Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання*. Мелітополь: МДПУ, 2020. Вып.17. С. 131–137.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2022 р.

Ye. Havrylenko, Yu. Kholodnyak, M. Miroshnychenko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

ALGORITHM FOR MODELING ONE-DIMENSIONAL CONTOURS ACCORDING TO THE GIVEN DATA

Summary

The formation of one-dimensional contours on the basis on the given conditions is one of the most popular geometric modeling problems. The problem is solved by variative discrete geometric modeling, which assumes the formation of intermediate points for the initial set of condensation points. The discrete model of the curve consists of a point sets, given geometric characteristics and a condensation algorithm. A discretely presented curve (DPC) is formed by a condensation of the initial point set of an arbitrary configuration in areas on which it is possible to ensure a monotonic change in the values of its characteristics. Monotone plots are joined at special points. Every three consecutive points of the duodenum define an adjacent plane. Four adjacent planes passing through two consecutive points limit the tetrahedron. The chain of consecutive tetrahedrons defined on all segments is the region of the location of the smooth curve of the constant stroke line interpolating the initial point sets. The torsion on the sections of the DPC is estimated by the value of the ratio of the angle between adjacent adjacent planes to the length of the corresponding chord of the accompanying broken line. The point of thickening is assigned inside the tetrahedron of the DPC. As a result of successive condensations, we obtain a continuous bypass of a constant stroke, at each point of which there is a single position of the main trihedron. The point of condensation is assigned in such a way that the values of the torsion in the duodenum points change monotonically. This ensures that the torsion values are regular at the points of the bypass. The imposition of additional conditions on the DPC formed requires the definition of the corresponding region of a possible solution within the DPC arrangement tetrahedron.

Key words: contour, differential geometric characteristics, radius of curvature, twist value, course of the curve, monotony of changes in characteristics



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-23

УДК 514.2

О. В. Івженко, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1559-3825

Г. В. Антонова, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-9269-6356

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: aleksandr@ivzhenko.pp.ua

e-mail: galina.antonova@tsatu.edu.ua

РЕВЕРС ІНЖИНІРИНГ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛАДНОЇ ТРИВИМІРНОЇ ПОВЕРХНІ

Анотація. В роботі розглянуто методи, що визначають можливості створення складних поверхонь за допомогою інформаційних технологій.

Сучасні тенденції розвитку різних галузей промисловості стимулюють розробку високоефективних і конкурентних видів техніки і технологій, які забезпечать жорсткі вимоги к якості та експлуатаційним властивостям виробів при економії матеріальних та енергетичних ресурсів, витрати на робочу силу, зниження собівартості виробництва, що є актуальними для машинобудування.

Ключові слова: теорії тонких оболонок, метод збурювання, математичні моделі, процес простого обтягування, алгоритм побудови, листова штамповка.

Постановка проблеми. Розвиток техніки на сучасному етапі характеризується широким використанням інформаційних технологій у всіх її областях. На особливу увагу заслуговують складно-фасонні об'ємні вироби, які характеризуються не тільки складністю рельєфу окремих елементів цих виробів, а й наявністю найрізноманітніших за формою та розмірами внутрішніх каналів, переходів, з'єднань тощо. Виготовлення таких виробів нині базується на використанні величезної кількості програмного забезпечення різних фірм, спрямованого на вирішення завдань, що виникають при виготовленні складно-профільних виробів.

Після відпрацювання конструкції виробу при його постановці на виробництво залежно від обсягу матеріалу, конструкції, форми та розмірів виробу, вирішуються завдання вибору методу отримання заготовок та виробу в цілому, розроблення та виготовлення технологічного обладнання, розробка програм (вибір програмного



забезпечення) для отримання заготовок та виробів. У зв'язку з цим вибір ефективного програмного продукту, що забезпечує виробництво того чи іншого фасонного виробу, є важливим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для деталей, що піддаються механічній обробці, збільшується трудомісткість виготовлення та витрати матеріалу за рахунок збільшення кількості металу, яка йде у стружку [9-11].

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 осісметричних деталей усіченій звужувальній формі є процес формовки із конічних заготовок. [12, 13]. З використанням методу збурення вирішується задача по визначенню технологічних параметрів процесу простого обтягування.

Формування цілей статті. Мета - спроектувати технологічний процес з мінімальною кількістю переходів, високим коефіцієнтом використання матеріалу, точними геометричними параметрами. Крім того, виготовлена деталь має відповідати вказаним експлуатаційним характеристикам.

Основна частина. Основними методами отримання складно-профільних об'ємних виробів або їх заготовок є: лиття; - штампування; пресування (методи порошкової металургії); швидке прототипування; швидке виробництво; механічна обробка різанням на верстатах з ЧПУ.

Вибір методу залежить від конструкції виробу, програми випуску, тривалості виробництва виробу і технологічних можливостей виробника. [1, 5]. Аналіз особливостей розглянутих методів виготовлення показує, що основою для отримання складно-профільних об'ємних виробів будь-яким методом є їх 3D-модель.

Однак побудова 3D-моделей такими способами не забезпечує ажурності виробу. З огляду на особливості виготовлення ажурних виробів, для демонстрації процесу їх виготовлення був обраний відмітний знак (рисунок 1).

Вибір цього виробу обумовлюється мініатюрністю елементів на фасонній поверхні, яка дозволяє оцінити можливості створення таких складних поверхонь за допомогою інформаційних технологій.

Для отримання моделі був використаний оригінал знака, який знаходиться в музеї історії Києва (рис. 2).

Реверс інжиніринг розпізнавального знака був виконаний методом сканування оригіналу за допомогою вимірювальної машини LDIGIT-300 з точністю сканування 0,02 мм.



Рисунок 1. Фотографія оригіналу

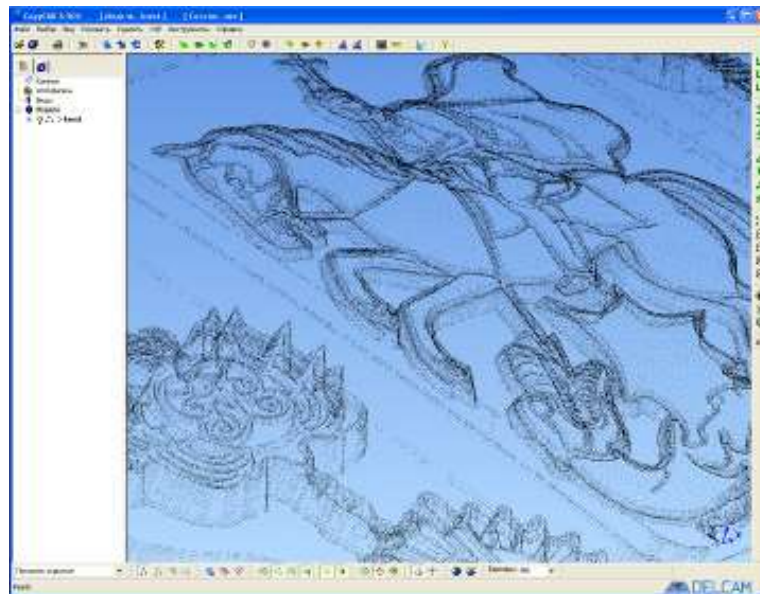


Рисунок 2. Точки, отримані оцифруванням поверхні знака

Дані відцифрування поверхні передавалися в SolidWorks для перетворення їх в комп'ютерні моделі для подальшого їх доопрацювання в CAD / CAM-системах. Хмара точок центральній частині елемента представлено на рисунку 2. SolidWorks, використовуючи функцію «майстер триангуляції» перетворює дані сканування в триангульовану модель, яка представляється набором трикутників з вершинами, що лежать на поверхні моделі, створюється STL-файл.

Центральна частина створеної STL-моделі представлена на рисунку 3.

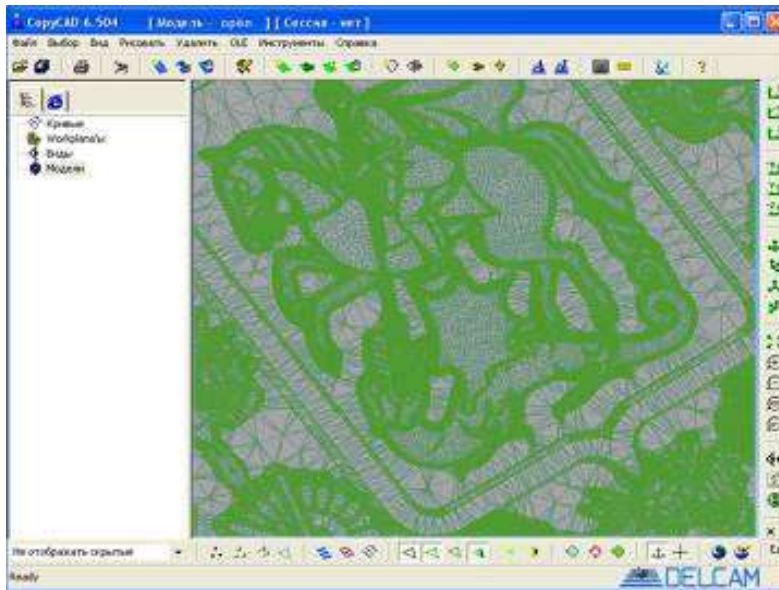


Рисунок 3. Триангулірована модель

Потім, на основі триангулірованої можна створити поверхневу модель. При цьому поверхні генеруються в межах заданої похибки ϵ , в разі необхідності, забезпечується точне сполучення сусідніх поверхонь по краю. Через високу складність моделі знака, і як наслідок великої кількості трикутників, використання зазначених вище способів моделювання даного виробу буде важко, так як потрібно вказувати величезна (понад 2 млн.) кількість точок для створення поверхні.

З огляду на виготовлення знака на наявному обладнанні швидкого прототипування проводиться по STL-моделі, редагування якої програмними продуктами найзручніше в ArtCAM Pro, було прийнято рішення використання саме цього продукту.

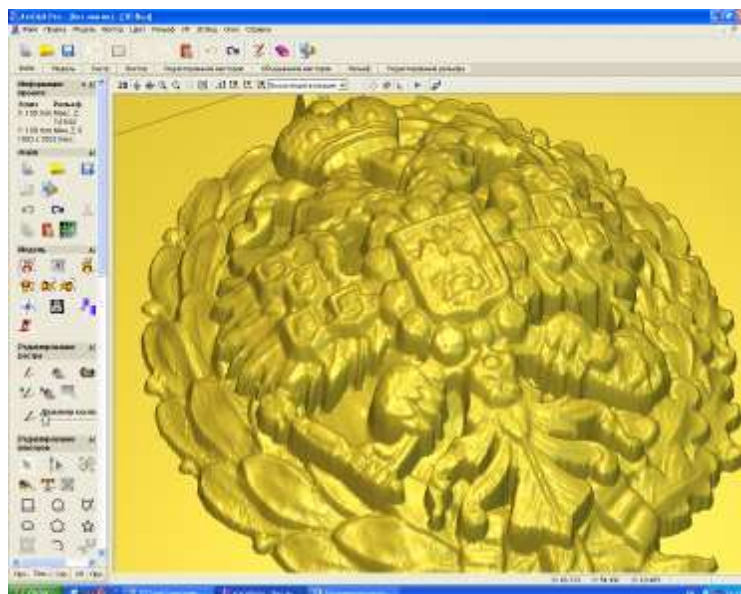


Рисунок 4. Модель нагрудного розпізнавального знака



Таким чином отримана STL-модель розпізнавального знака з геометричними параметрами нагрудного варіанти імпортувалася в систему ArtCAM Pro (рисунок 4) для подальшого доопрацювання і розробки керуючих програм.

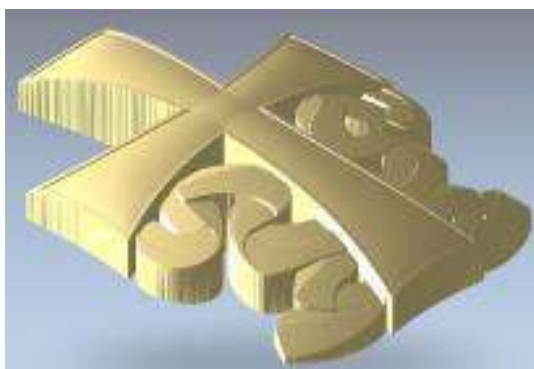
В ArtCAM Pro модель командою «задати розмір моделі» масштабувалася до розмірів фрачного варіанту.

Після імпорту STL-моделі в ArtCAM Pro модель вийшла без підвнутрішню. В цьому випадку всі внутрішні елементи автоматично закриваються. Тому 3D-модель не повністю відповідає оригіналу. Однак, система ArtCAM Pro дозволяє виготовити цей виріб на верстаті методом фрезерування, а також необхідне оснащення (штампи і ливарні форми) для обраного методу виготовлення (для лиття по виплавлених моделях - майстер-шаблони, для карбування - матрицю і пуансон). Для цього проводилася обробка за 2 установка, використовуючи вихідну 3D-модель лицьового боку елемента для зовнішніх поверхонь і відредаговану (згладжену і промасштабовану на величину товщини деталі) - для внутрішніх поверхонь.

Виготовлення такої складної об'ємної поверхні з безліччю різних дрібних елементів цільної не технологічно, так як потрібна велика номенклатура інструменту і дотримання умов експлуатації кожного з них.

Технологічнішою буде складова конструкція, розділена на елементи, так як кожен елемент має свою ступінь складності рельєфу і стратегію його обробки.

Відсутні частини рельєфу, закриті іншими елементами знака, добудовувалися в ArtCAM, застосовуючи команди «витягування по векторах», «скульптор» і т.п. Остаточні моделі кожного елемента знака показані на рисунку 5.



а) елемент (хрест)



б) елемент (вінок)

Рисунок 5. Поелементна модель знака.

Висновки. Застосування програмного забезпечення в навчальному процесі та науково-дослідній роботі кафедри при виготовленні



складно-профільних об'ємних виробів показало, що при виготовленні виробів з великою кількістю мініатюрних елементів більш ефективно використання системи ArtCAM Pro, яка дає можливість моделювання без спеціальних художніх навичок і майстерності скульптора, що дозволяє користуватися цією програмою широкою аудиторією.

Задовольнити вимогам, які пред'являються до деталей, можливо, якщо аналітично представити умови, які є функціоналом, а потім вирішити ці умови.

Список використаних джерел

1. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255–257.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83–86.

3. Komar A. S. Advantages of pelleting organic waste of plant and animal origin. Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку: матер. І Міжн. наук.-практ. конф. Луганськ, 2021. С. 363–365.

4. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. P. 231–233.

5. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. P. 171–176.

6. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. Engineering of nature management. 2021. №1(19). P. 7–12.

7. Имшенецкий А. А., Сабелькин В. П., Кривцов В. А., Матющенко И. Ю. Определение оптимальных условий штамповки осесимметричных оболочек оживальной формы. Харьк. авиац. ин-т. 2001. 120 с.

8. Спирінцев В. В., Дмитрієв Ю. О. Розробка функціональної схеми процесу автоматизованого проектування. Регіональна міжвузівська збірка наукових праць. «Системні технології». Дніпропетровськ, Вип. 5. ДНАУ, 2013. С.130–136.



9. Оксамитна К. Ю., Гладишева О. С. Автоматизація побудови поверхні горизонтального циліндроїду засобами SolidWorks API. Праці ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2011 Вип. 5, т. 5. С. 78–83.

10. Гавриленко Є. А., Бохан В. Д. Методика реалізації програмного модуля для механізованих технологічних комплексів розсадництва. Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 111–114.

11. Пихтєєва І. В., Вершков О. О., Малюта С. І. Метод швидкого прототипування виготовлення профільних об'ємних виробів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 1. С. 326–333

12. Торбунова А. Ю., Шпильова О. О. Автоматизація процесу виготовлення прес-форм для декоративних елементів оформлення інтер'єрів з урахуванням вимог промислової безпеки. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць XIII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С. 202–203.

13. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21–24.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2022р.

O. Ivzhenko, G. Antonova

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

REVERSE ENGINEERING AND FABRICATION OF A COMPLEX THREE-DIMENSIONAL SURFACE

Summary

Methods that determine possibilities of creation of difficult surfaces by means of information technologies are in-process considered.

Modern progress of different industries of industry trends stimulate development of high-efficiency and competition types of technique and technologies, that will provide hard requirements to quality and operating properties of wares at the economy of material and power resources, expense, on labour force, a decline is a production cost that is actual for an engineer [1, 5].

An aim of technologist is in that, to project a technological process with the least of transitions, high coefficient of the use of material, exact geometrical parameters. In addition, the made detail must answer the indicated operating descriptions.



Development of technique on the modern stage is characterized deployment of information technologies in all her areas. Special attention is deserved by the difficult-shaped by volume wares, that are characterized not only complication of relief of separate elements of these wares but also presence most various in a due form and to the sizes of internal channels, transitions, connections etc. Making of such wares is presently based on the use of enormous amount of the software of different firms, sent to the decision of tasks arising up at making of difficult-profile wares.

After working off the construction of good at his raising on a production depending on the volume of material, construction, form and sizes of good, the tasks of choice of method of receipt of purveyances and good decide on the whole, developments and making of technological equipment, program (choice of software) development for the receipt of purveyances and wares [2, 3, 4]. In this connection choice of effective software product, providing the production of one or another shaped good, is an important task.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-24

УДК 514.182.7

О. Є. Мацулевич, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-5553-709X

Є. А. Гавриленко, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-7484-1759

Ю. В. Холодняк, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8966-9269

А. П. Чаплінський, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-8966-9269

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.matsulevych@tsatu.edu.ua

ОТРИМАННЯ МАСТЕР-МОДЕЛІ З ВОСКІВКИ МЕТОДОМ ЛИТТЯ

Анотація. В роботі розглянуто поліпшення виробничого циклу за рахунок відмови від вирізування вручну моделей, застосування 3D-принтера і литва у форми- моноліти.

В ході виконання проекту було продемонстровано етапи виготовлення від створення ескізу виробу та отримання STL-моделі для розробки технології масового виготовлення моделі методом тиражування в еластичних прес-формах.

Для вирішення цього завдання передбачалося виконання наступних етапів: 1. Розробка дизайну, 2. Створення 3D-моделі, 3. Розробка STL-моделі, 4. Виготовлення восківки на 3D-принтері, 5. Отримання майстер-моделі з восківки методом лиття, 6. Виготовлення прес-форми для масового виробництва.

Сучасні тенденції розвитку різних галузей промисловості стимулюють розвиток високої продуктивності і конкурентоздатних видів техніки і технологій, які забезпечуватимуть строгі вимоги до якості і експлуатаційних властивостей продуктів при економії матеріальних, енергетичних ресурсів і трудових витрат, зниження себестоимости виробництва, що має важливе значення для машинобудування.

У роботі розглянуті загальні питання аналізу виробів складної форми, основні методи їх отримання, питання проектування і виготовлення оснащення для таких виробів, а також показано рішення задачі отримання одного з даних виробів.

Завдяки сучасним технологіям, можливо, виготовити будь-які найскладніші форми. Дизайнерові завжди необхідно мати хороше уявлення про процес отримання виробу, в нашому випадку, знати технологію литва по моделях, що виплавляються, у форми-моноліти.



Майстер-модель вирішено виготовити із сплаву, що дозволить судити про технологічність виробу і оцінити можливість утворення навіть найдрібніших дефектів.

Ключові слова: виготовлення прес-форми, ArtCAM JewelSmith, ЭБ-модель, методом литва, STL-моделі, алгоритм побудови, застосування 3D-принтера.

Постановка проблеми. Була поставлена задача розробити алгоритм системи автоматизованого моделювання, та створення автоматизованого програмного модуля API програми для зміни будь-якого параметру деталі. Для зменшення затрат на моделювання деталі та програмної реалізації автоматизації її перебудови було створено модуль розрахунку в програмі ArtCAM Даний модуль інтегрований в систему проектування додатку JewelSmith, що дозволяє візуально спостерігати зміни структури деталі при її перебудові та вносити в неї зміни [1-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Бурхливий розвиток комп'ютерних технологій сприяє розширенню можливостей для створення об'єктів проектування високої складності. Від кропіткої роботи за кульманом до маніпуляцій в програмному середовищі. Галузь машинобудівництва постійно розвивається і надає інженерам все більше функціоналу для вирішення їх повсякденних задач на виробництві [6-8]. Нові технології в автоматизованому проектуванні, дійсно, можна застосувати майже у всіх сферах життя людства. В роботі задіяні здобутки програмного забезпечення систем автоматизованого проектування і верстати з числовим програмним керуванням для створення нового підходу у виробництві дизайнерської задумки [10-12].

Формування цілей статті. У даній роботі пропонується удосконалення технологічного процесу виробництва на прикладі автоматизації виготовлення дизайнерського виробу з використанням програмно – апаратного комплексу ArtCAM JewelSmith, з використанням цієї системи представлено моделювання об'ємних виробів.

Основна частина. Для створення 3D-моделі в ArtCAM JewelSmith необхідно пройти декілька етапів проектування. Для створення основи використовуваний "Майстер створення шинок" у вкладці "JewelSmith": з бібліотеки шинок вибираємо "Круглу звужену шинку", в опціях задаємо габаритні розміри (рис. 1).

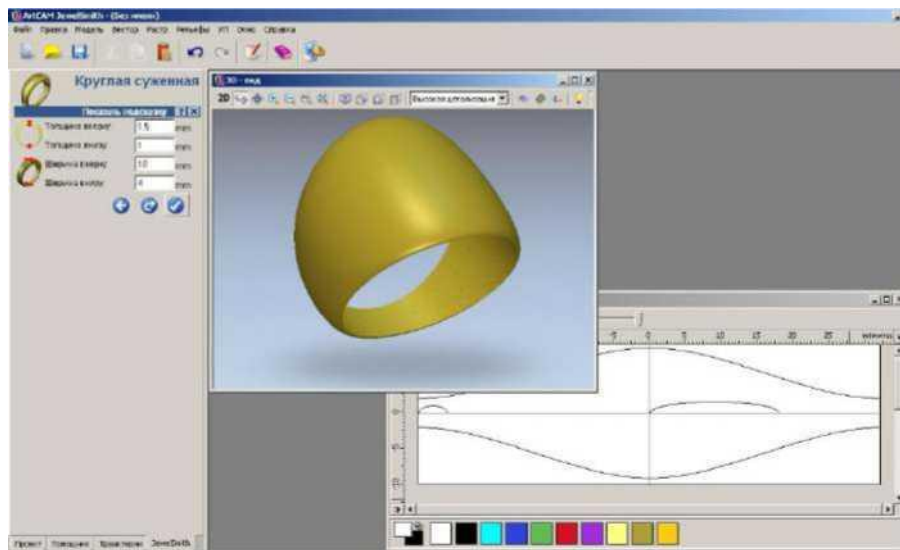


Рисунок 1. Створення основи

Далі, використовуючи великий інструментарій ArtCAM JewelSmith по роботі з векторами, створюємо овальні форми під вставку [13,14]. Вибираємо інструмент "Заливка векторів" і робимо заливку певними кольорами. Використовуючи "Редактор форми", привласнюємо кольорам властивості: блакитному кольору привласнюємо плоску форму з початковою висотою 1 мм, зелений – обнуляємо всередину на усю глибину (рис. 2).

Продовжуючи використати вектори з вкладки "Помічник", створюємо усі малюнки на поверхні. Потім заливаємо кожен елемент своїм кольором, і кожному кольору, використовуючи "Редактор форми", задаємо потрібний рельєф. Так фіолетовому кольору привласнюємо округлу форму з обмеженням по висоті і початковою висотою 1 мм.

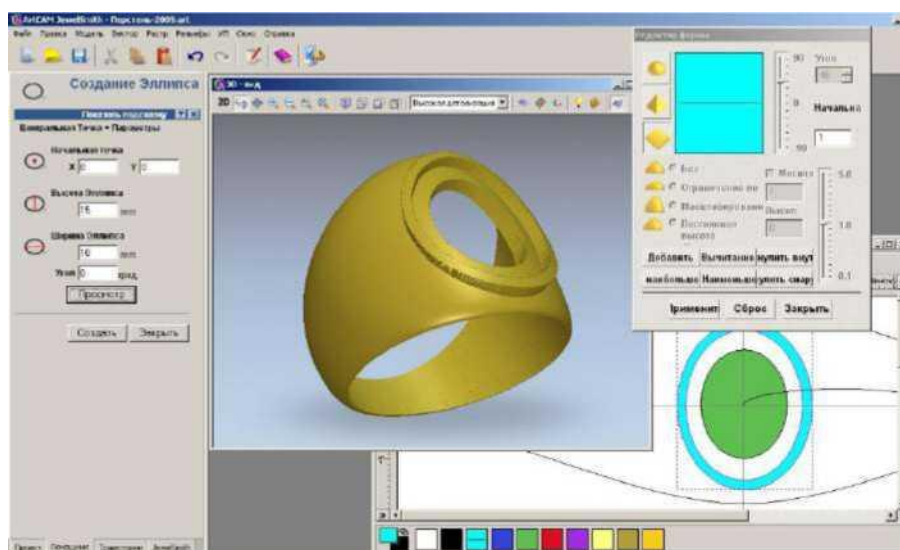


Рисунок 2. Створення рельєфу для вставки

Після створення тривимірної моделі персня для привласнення матеріалу, з якого буде виготовлено виріб, треба створити майстер-модель. Для цього необхідно, використовуючи інструмент загального редагування "Додати в майстер" у вкладці JewelSmith, присвоїти матеріал – "14ct Gold", врахувати усадку – 2 %, а система зробить розрахунок маси і створить майстер-модель. Тепер можна присвоїти виробу колір, використовуючи інструмент "Освітлення і матеріал" у вкладці "Модель" на основній панелі інструментів, що управляє. Вибираємо "18ct LightBox Gold", який найближче наближений до забарвлення готової моделі з 14ct золота. І як видно на рис. 9 перстень придбав золоте забарвлення.

Потім необхідно створити вставку, яка в готовому виробі буде виконана з чорного обсидіану. Для цього створюємо нову шинку: вибираємо в заготівлях "Плоску 3-х осьову шинку", задаємо габаритні розміри. Далі використовуючи інструменти роботи з векторами, створюємо вставку овальної форми. Отримавши тривимірну модель вставки, надаємо їй чорне забарвлення, використовуючи інструмент "Освітлення і матеріал", як видно на рис. 3.

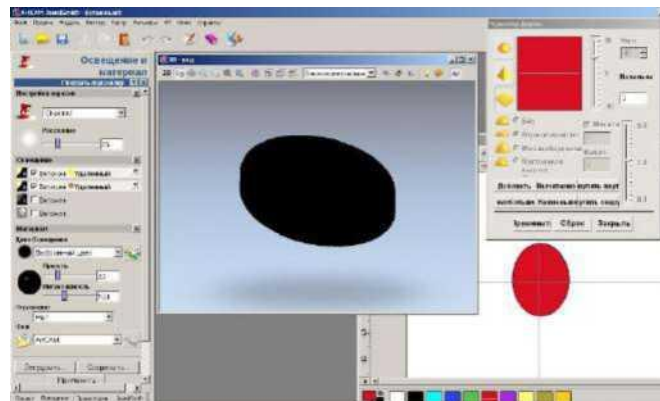


Рисунок 3. Створення овальної вставки

Далі для створення складання і вставки використовуємо вкладку "Проект" і створюємо нове складання. Після чого відбувається поєднання основи зі вставкою. Тепер необхідно розташувати вставку на поверхні, для чого використовуємо інструмент "Зрушення" і переміщаємо вставку до необхідного положення. Підготовка даних для машин швидкого прототипування зводиться до експорту даних у форматі STL. Тому для створення восківки на 3D-принтері, необхідно отримати файл з розширенням .stl. Для цього в системі ArtCAM JewelSmith передбачений спеціальний модуль "Створення STL Моделі", розрахунок триангульованої моделі, що виробляє. Модуль робить розрахунок моделі з урахуванням матеріалу, з якого виготовлятиметься виріб, і з урахуванням усадки при кристалізації

відливання.

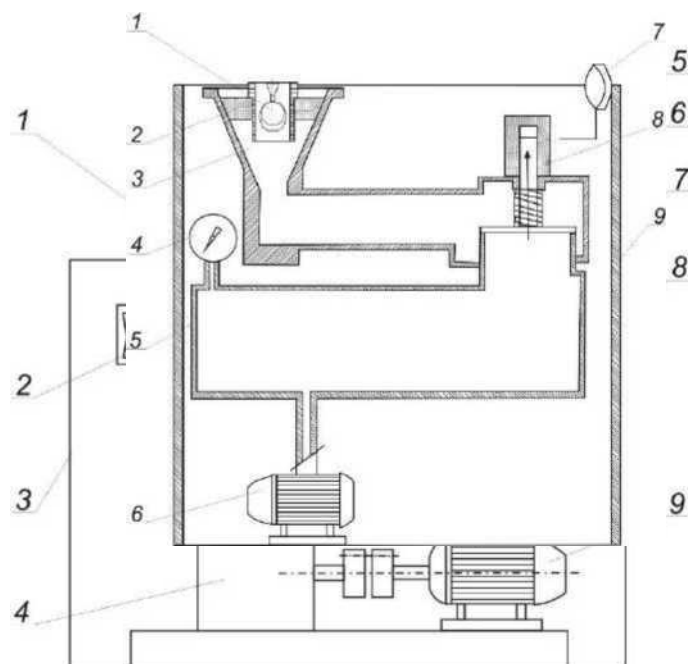
Використовуючи створену STL- модель, передаємо її на 3D-принтер, який створює восківку майбутнього виробу. Ідея FDM(Fused Deposition Modeling) дуже проста – роздавальна голівка видавлює на охолоджувану платформу-основу краплі розігрітого термопластика(як матеріал може використовуватися практично будь-який промисловий термопластик). Краплі швидко застигають і злипаються один з одним, формуючи шари майбутнього об'єкту(друк тут теж ведеться по шарах). Техпроцес FDM дозволяє з досить високою точністю(мінімальна товщина шару 0.12 мм) виготовляти повністю готові до використання деталі досить великого розміру(до 600×600×500 мм). На рис. 4 представлений 3D-принтер, на якому була виконана восківка.

Використовуючи 3d-принтери, можна значною мірою поліпшити виробничий цикл за рахунок відмови від вирізування вручну моделей з воску. Можна переходити безпосередньо до литва по моделях, що виплавляються, або виготовленні гумової форми.

Після отримання восківки на 3d-принтері, встановлюємо її на плиті. Замішуємо формувальну суміш вручну близько 30 секунд і заповнюємо нею опоку. Заливку потрібно виконувати дуже акуратно, щоб суміш не лилася прямо на воскову модель. Опока заповнюється тільки до верху воскової моделі перед вакуумуванням, а потім доливається після остаточного вакуумування. Заливку необхідно проводити при включеному вібраторі. Тривалість вібровакуумування складає 3-4 хвилини (рис. 5).



Рисунок 4. Створення восківки на 3D-принтері

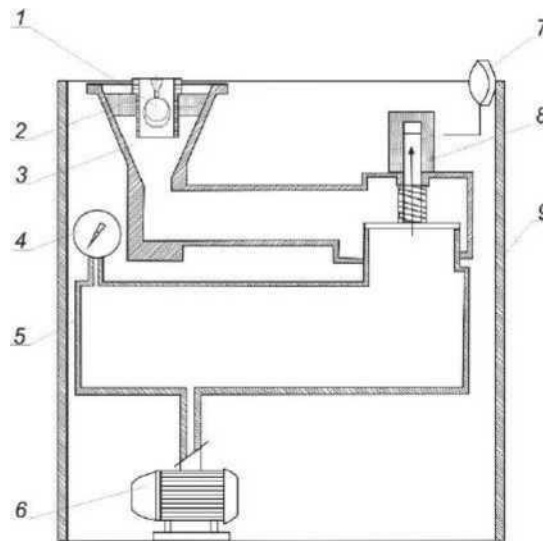


1 – вібростіл, 2 – вимикач, 3 – корпус, 4 – вакуумний насос, 5 – патрубок, 6 – ковпак, 7 – вакуумметр, 8 – перемикач, 9 – електродвигун.
Рисунок 5. Вібро-вакуумна формувальна установка

Далі, після заповнення опоки сумішшю і витримки форм впродовж 2-3 годин необхідно очистити тонкий верхній шар суміші для видалення глянцю, який може утворитися і перешкоджати подальшому видаленню вологи під час першої стадії видалення воску. Потім витримуємо і встановлюємо ливарну форму в сушарну шафу для видалення воску. Ливарну форму встановлюємо вниз чашею ливника і розплавлений віск витікає.

Процес високотемпературної обробки призначений для видалення органічних речовин, створення певної міцності ливарної форми, необхідної при примусовій заливці розплавленим металом, нагріву ливарної форми до температури, достатньої для заповнення її робочої порожнини. Встановлюємо ливарну форму в холодну прокалочну піч, і починаємо нагрів до температури 230-250°C, і витримуємо впродовж 4 годин. Подальший нагрів ведуть із швидкістю 100°C в годину до температури 730-760 °C.

Плавимо сплав в тиглі і заливаємо його в ливарну форму на установці вакуумного всмоктування (рис. 6). Залиту ливарну форму знімаємо з плавильної – заливочної установки і встановлюємо вниз чашею ливника для охолодження. Охолоджуємо ливарну форму до кімнатної температури, і тільки після цього опускаємо в проточну воду.



1 – форма ливарна, 2 – робоча камера, 3 – фланець, 4 – манометр, 5 – ресівер, 6 – вакуумний насос, 7 – система управління, 8 – вакуумний затвор, 9 – корпус.

Рисунок 6. Заливальна установка вакуумного всмоктування

Після вибивання залитої форми в проточній воді відливка вимагає додаткового очищення (впродовж 40-50 хвилин в 20-40%-ном водному розчині плавикової кислоти). Далі проводимо вибілювання в 10-15%-ном розчині азотної кислоти впродовж 1-5 хвилин. Шліфуємо і поліруємо відливання.

З метою масового тиражування виробу необхідно виготовити гумову прес-форму (рис. 7).



Рисунок 7. Гумова прес-форма

Процес виготовлення гумової прес-форми полягає в наступному. Спочатку укладаємо майстер-модель між листами гуми у відповідного розміру рамку. Майстер-модель із заповненими шматочками сирови



гуми внутрішніми порожнинами поміщаємо на приготований шар. Інші заготівлі сирієї гуми укладаємо згори мастер-моделі. Потім гума вулканізується під тиском при температурі 158°C, впродовж 30-45 хвилин. Після охолодження у воді гумову прес-форму із запечатаною в ній мастер-моделью витягають з рамки. Прес-форму розрізають так, щоб не було зміщення двох її половинок форми по площині роз'єму.

В порожнину прес-форми можна багаторазово заливати під тиском віск, отримуючи, таким чином, моделі, що виплавляються, для виготовлення ливарних форм.

Висновки. В результаті проведеної роботи була розроблена комп'ютерна тривимірна STL-модель для виготовлення восківки на 3D-принтері, отримана восківка, по якій відлита модель-оригінал, необхідна для вулканізації гумової прес-форми, що дозволяє масово тиражувати виріб. Застосування програмного продукту ArtCAM JewelSmith дозволило швидко і якісно створити реалістичну візуалізацію дизайнерського виробу, що дозволило на стадії проектування вносити корективи в майбутній виріб, а також в подальшому його можна буде легко модернізувати і змінити дизайн.

Стаття відображає основну ідею – розробці спеціалізованого програмного модуля, що дозволяє змінювати будь-який геометричний параметр моделі.

Список використаних джерел

1. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255–257.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83–86.

3. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference. 2017. P. 155–158.

4. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. P. 231–233.

5. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. P. 171–176.

6. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving



mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). P. 7–12.

7. Гавриленко Е. А., Дереза Е. А., Ивженко А. В. Моделирование рабочих поверхностей промышленных изделий на основе массива точек. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21. С. 83–90.

8. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Коломієць С. М. Геометричне моделювання складних тривимірних поверхонь із застосуванням матричного рівняння еліптичного повороту. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 294–300.

9. Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 55–68.

10. Скорлупін О. В. Загальна методика комп'ютерного геометричного моделювання профілів кулачків механізмів приводу шліфувальних головок зубозаточувальних верстатів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУБЖД, 2019. С. 225–226.

11. Вершков О. О., Холодняк Ю. В., Дмитрієв Ю. О., Чаплінський А. П. Розробка мурашиного алгоритму для оптимізації оперативного планування робіт по збиранню врожаю кісточкових. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 106–110.

12. Пихтеєва І. В., Гавриленко Є. А., Бохан В. Д. Методика реалізації програмного модуля для механізованих технологічних комплексів розсадництва. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 111–114.

13. Вершков О. О., Малюта С. І. Метод швидкого прототипування виготовлення профільних об'ємних виробів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ ім. Д. Моторного, 2021. Вип. 21, т. 1. С.326–333.

14. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21–24.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2022р.



**O. Mazulevuch, E. Gavrilenko, Y. Holodnyk, A. Chaplunskiy
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

RECEIPT OF MASTER- MODEL FROM BY MEANS OF BEESWAX METHOD OF CASTHOUSE

Summary

The improvement of productive cycle is in-process considered due to abandonment from excision by hand of models, application of 3D-принтера and casting in forms-monoliths.

In hired the design of by volume wares is presented with the use of the system ArtCAM JewelSmith. During implementation of project the stages of making of fingering were shown from creation of sketch of good and receipt of model STL- for the system of rapid protoportschen to development of technology of the mass making of model by a circulating method in elastic press-forms.

To solve this problem, the following stages were envisaged: 1-development of design, 2.- creation of a 3D model, 3- development of an STL model, 4- production of a stencil on a 3D printer, 5- obtaining a master model from a stencil by casting, 6 - production of a mold for mass production of a product.

Modern progress of different industries of industry trends stimulates development of high yield and competitive types of technique and technologies, that will provide strict requirements to quality and operating properties of products at the economy of material, power resources and labour expenses, decline of production cost, that has an important value for an engineer.

The general questions of analysis of wares of difficult form, basic methods of their receipt, questions of planning and making of rigging, are in-process considered for such wares, and also the decision of task of receipt of one of the examined wares is shown.

Due to modern technologies, maybe, to make any most difficult forms. A designer always must have a good idea about the process of receipt of good, in our case, to know technology of casting on the smelted models in forms-monoliths. As a model it is assumed to pour off from gold, master-model it is decided to make from a gold alloy, that will allow to judge about a manufacturability ware and to estimate possibility of education even of shallow defects.

Key words: mold making, ArtCAM JewelSmith, 3D model, casting method, STL models, construction algorithm, 3D printer application.