

**ШИФР: ДОСЛІДЖЕННЯ**

**НАУКОВА РОБОТА**

На тему:

«Досліджень параметрів дробарки  
з одночасним змішуванням при приготування  
комбінованих кормів в господарстві»

## Зміст

<b>Вступ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Методика проведення досліджень параметрів дробарки</b>	
<b>з одночасним змішуванням .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Вихідна сировина та її фізико-механічні властивості .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Експериментальна установка .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Відбір проб для оцінки показників технологічного процесу ...</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Планування експериментальних досліджень .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5. Визначення витрат енергії.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6. Оцінка якості обробки кормів .....</b>	<b>16</b>
<b>1.7. Проведення експерименту та обробка результатів .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Результати досліджень .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Оцінка якості одночасного подрібнення кормових</b>	
<b>компонентів з різними вихідними характеристиками .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Вплив основних параметрів дробарки на ефективність</b>	
<b>процесу подрібнювання-змішування компонентів .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1. Швидкість молотків .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2. Щільність розміщення молотків на барабані .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3. Розміри отворів решіт .....</b>	<b>26</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>28</b>
<b>Список використаної літератури .....</b>	<b>29</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>31</b>

## АНОТАЦІЯ

### до студентської наукової роботи за шифром „Дослідження”

**Актуальність.** Основою розвитку тваринництва є кормова база, а саме високоефективне її використання значною мірою зумовлюється раціональним згодовуванням кормів у підготовленому вигляді і забезпеченні збалансованої годівлі тварин. Збалансована ж годівля досягається включенням до раціонів комбікормів.

За таких умов зростає актуальність приготування комбікормів безпосередньо в господарствах-виробниках тваринницької продукції із власної сировини із використанням білково-мінеральних, вітамінних добавок та додаванням преміксів промислового виробництва. Такий підхід дозволяє значно скоротити транспортні витрати, зменшити втрати кормів і збільшити кількість рецептур кормових сумішок для різних видів та вікових груп тварин.

**Мета роботи.** Метою роботи є зниження ресурсовитрат і підвищення якості приготування комбікормів шляхом удосконалення технологічного процесу та засобів його здійснення.

**Завдання роботи.** Для досягнення поставленої мети дослідити вплив основних параметрів дробарки-змішувача на показники якості і ефективності в процесі одночасної переробки зернових компонентів.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань були використані методи: землеробської механіки, математичної статистики, математичного моделювання та теоретичної механіки.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес приготування комбікормів: подрібнення та змішування зернових компонентів.

**Предметом дослідження** є закономірності впливу параметрів подрібнювача змішувача на якість і ефективність одночасного подрібнення і змішування зернових компонентів.

**Загальна характеристика роботи.** У роботі визначено оптимальні параметри подрібнювача-змішувача який використовується в складі агрегата для приготування комбікормів безпосередньо в господарстві.

В роботі наведений опис методики відповідно якій були проведені дослідження параметрів які характеризують показники якості та ефективності дробарки з одночасним змішуванням зернових компонентів.

На основі одержаних результатів проведений аналіз та побудовані залежності основних параметрів дробарки на ефективність процесу одночасного подрібнення та змішування компонентів комбікорму.

## ВСТУП

Відомо, що потужний розвиток галузі тваринництва можливий при сприятливих умовах повноцінної годівлі та утримання тварин. Для першого необхідно повний спектр поживних речовин та оптимальна кількість годівлі тварин в чітко окреслені проміжки часу.

Зазначені вимоги можливо виконати лише у випадку відповідної підготовки кормової сировини перед згодовуванням і збалансування кормових раціонів які регламентуються зоотехнічними вимогами. Відповідно до цих умов, необхідно забезпечити оптимальну крупність кормових часток, яка залежить від вікових та фізіологічних особливостей тварин. Розмір часток корму утворюється шляхом подрібнення вхідної сировини в процесі підготовки до згодовування.

Технологічний процес приготування комбікормів включає цілий комплекс технологічних та допоміжних операцій. Проте в будь якому технологічному процесі присутні операції подрібнення та змішування.

Аналіз стану виробництва та використання комбінованих кормів показав актуальність їх приготування безпосередньо в умовах сільськогосподарських підприємств. Існуючі варіанти технологічних схем та технічних засобів для цієї мети характеризуються широкою різноманітністю функціонально-конструктивних рішень, проте недостатньо теоретично і експериментально обґрунтованих. Як результат такого підходу є низька ефективність їх використання в сучасних умовах господарювання.

Більшість наукових досліджень, питань кормоприготування, були присвячені визначенню якості та ефективності подрібнення та змішування але як окремі процеси. З метою оптимізації конструкції агрегату для приготування комбікормів в господарстві, пропонується сумістити зазначені операції.

Технологічною основою агрегатів для приготування комбікормів безпосередньо в господарствах є молоткова дробарка, а серед самих агрегатів

перспективними є ті, що працюють за безперервним принципом при суміщенні процесів подрібнення і змішування вихідних компонентів.

Для подальшого розвитку вказаного напрямку необхідно провести додаткові дослідження ефективності і якості змішування інгредієнтів комбікормів при одночасному їх подрібненні молотковою дробаркою, оскільки матеріали такого плану до цього часу практично відсутні.

Для досягнення поставленої мети – підвищення ефективності і якості приготування комбікормів в умовах тваринницьких підприємств – необхідно дослідити вплив основних параметрів дробарки-змішувача на показники якості і ефективності в процесі одночасної переробки зернових компонентів.

# 1. Методика проведення досліджень параметрів дробарки з одночасним змішуванням

Відповідно до поставлених завдань даної роботи, необхідно дослідити залежності показників якості одночасного подрібнення (крупність та рівномірність фракційного складу) і змішування (рівномірність перерозподілу) кормових компонентів, а також енергоємності процесу потокового приготування комбікормів від таких основних параметрів агрегата:

- $v_m$  – швидкість молотків, м/с;
- $d_o$  – розмір отворів решіт, мм;
- $k_r$  – густина розміщення молотків на роторі;
- $\alpha_p$  – кут обхвату робочої камери решетом, град;
- $\Phi$  – форма молотків (прямокутна, шестигранна).

## 1.1. Вихідна сировина та її фізико-механічні властивості

Перелік сировини, що використовується в сучасному тваринництві на кормоприготування для худоби та птиці, дуже широкий. Але із всього її різноманіття основу кормових раціонів складають рослинні корми. Наприклад, комбікорми промислового виробництва на 82-98 % складаються з інгредієнтів рослинної сировини, в тому числі 50-85 % - це фуражне зерно. Компоненти тваринницького походження (3-10 %) та мінеральні і синтетичні речовини (1-9 %) входять до складу комбікормів як попередньо підготовлені добавки, що не потребують подрібнення.

За базову вихідну сировину для лабораторних експериментальних досліджень нами було прийнято зерно ячменю як один із обов'язкових складових комбікормів. В порівняльних дослідженнях було використано також зерно кукурудзи, пшениці, вівса та гороху.

При виконанні окремих операцій (дозування, транспортування, подрібнення та змішування) технологічного процесу на ефективність взаємодії робочих органів кормоприготувального агрегата впливають різні фізико-механічні властивості вихідних компонентів. В дослідженнях були прийняті обмеження лише тими з них, які безпосередньо впливають на згадані процеси і входять до складу одержаних теоретичних залежностей. До таких характеристик вихідної сировини відносяться: вологість, об'ємна маса, кути природного схилу, коефіцієнти тертя (додаток А).

## **1.2. Експериментальна установка**

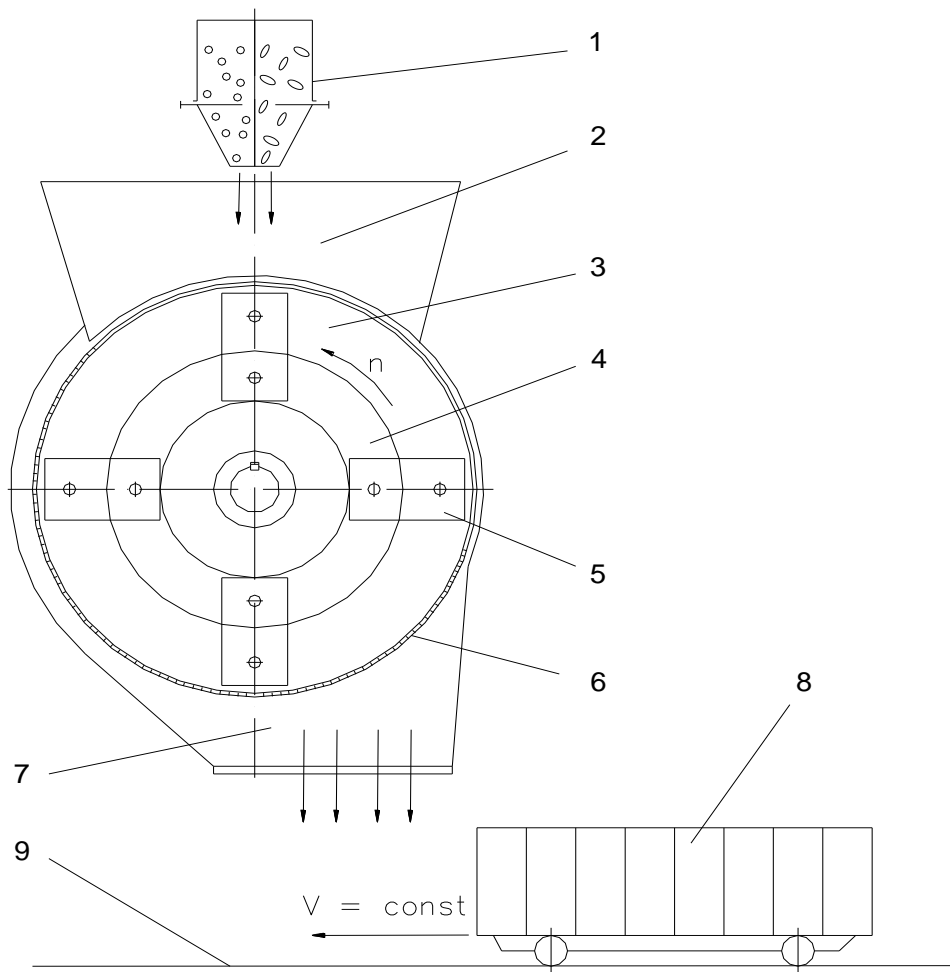
Для реалізації програми експериментальних досліджень була розроблена конструктивно-функціональна схема, відповідно до якої виготовлено установку для одночасного подрібнення і змішування зернових компонентів в процесі приготування комбікормів [6].

Експериментальна установка розроблена на базі молоткової дробарки решітного типу з осьовою подачею вхідного матеріалу в камеру подрібнення. Дробарка-змішувач включає (рис. 1): приймальну горловину, камеру подрібнювання та вивантажувальний патрубок. Приймальна горловина виконана як передня бокова стінка, до якої приварений завантажувальний бункер. Передня бокова стінка має вікно для подачі зернового матеріалу в робочу камеру. В робочій камері розміщені решето та ротор (молотковий барабан). Ротор має чотири вісі підвісу, на яких розміщується через розпірні втулки змінна кількість молотків. Ротор приводиться в дію через клинопасову передачу від електричного двигуна. Вивантажувальний патрубок приєднаний до зарешітного простору камери подрібнення і має в нижній частині мішкотримач.

Подача вихідної сировини здійснюється в приймальну горловину дробарки за допомогою блока шибєрних дозаторів. Кожна з його секцій має об'єм, пропорційний долі відповідного компоненту в складі приготавливаної сумішки і оснащений пристроєм для рівномірного дозування подачі крізь



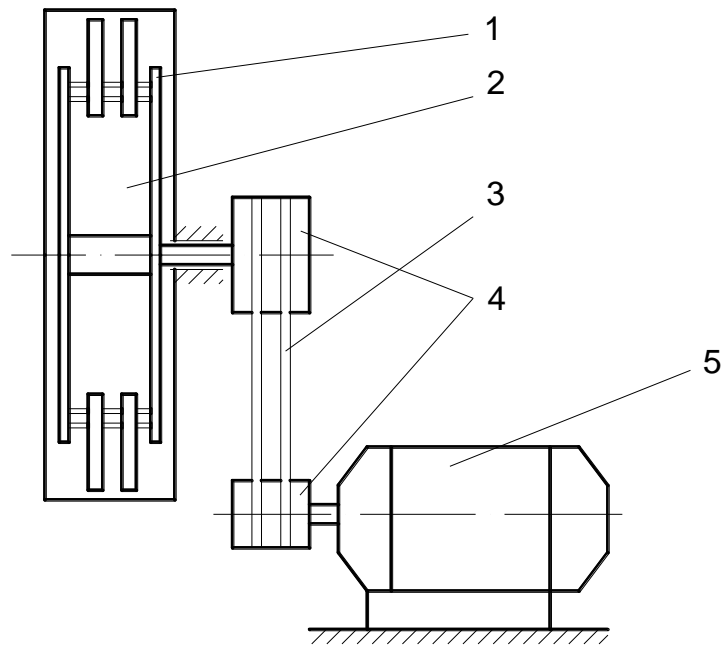
регульоване вікно. Подачу компонента з кожної секції можна регулювати незалежно.



**Рис. 1. Конструктивно-функціональна схема експериментальної установки:**

1 – блок шибєрних дозаторів-живильників; 2 – приймальна горловина; 3 – камера подрібнювання; 4 – ротор; 5 – молотки; 6 – решето; 7 – вивантажувальний патрубок; 8 – візок з перегородками; 9 – рейкові напрямні

Подрібнювач-змішувач працює таким чином. Основний зерновий та контрольний компонент подаються в окремі секції шибєрного дозатора, а потім звідти регульовано потрапляють у приймальну горловину дробарки. В робочій камері відбувається подрібнення і одночасне перемішування складових суміші. Подрібнені до необхідної величини і змішані частки вихідних компонентів (комбікормова сумішка) просіваються крізь отвори решета і надходять у вивантажувальний патрубок.



**Рис. 2. Кінематична схема експериментальної установки:**

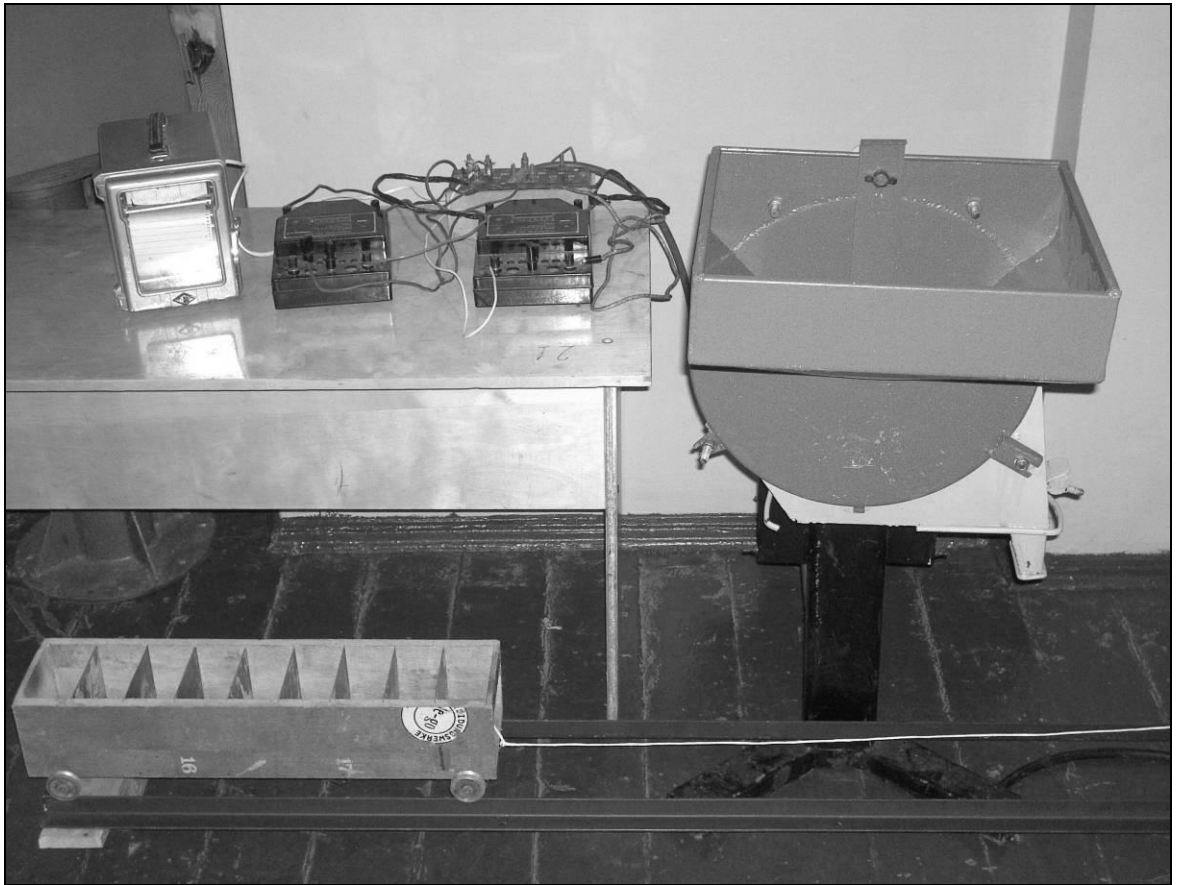
1 – ротор; 2 – робоча камера; 3 – клинопасова передача;  
4 – змінні шківви; 5 електродвигун

Експериментальна установка дозволяє:

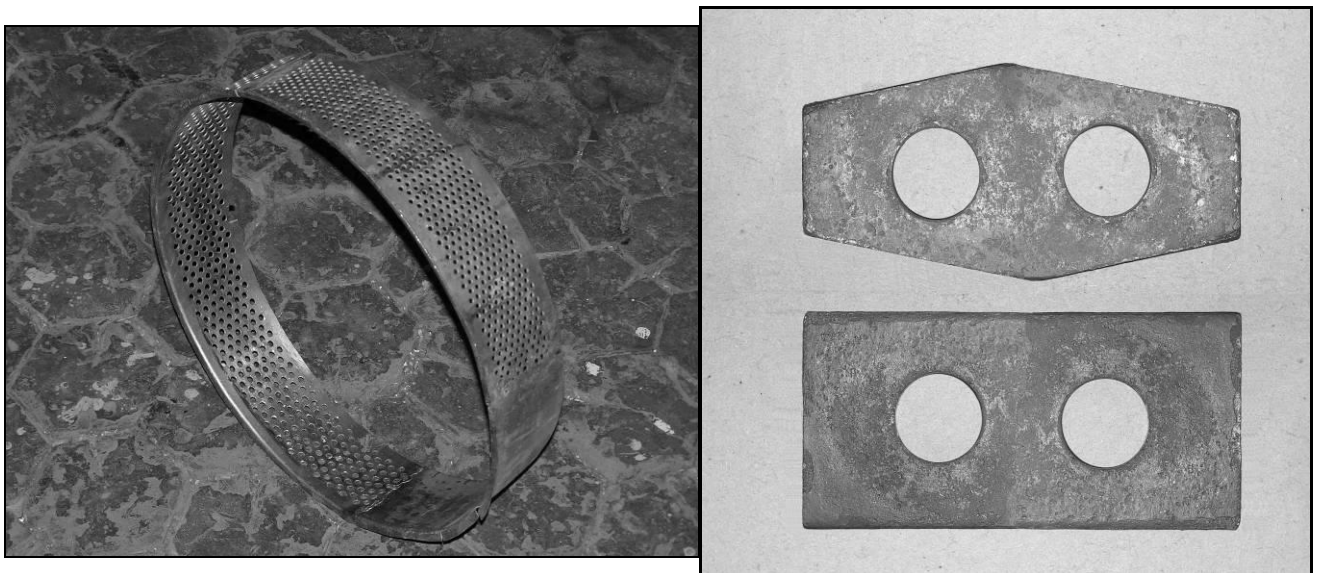
- встановлювати решета з різними діаметрами отворів і змінювати кут обхвату ними робочої камери;
- встановлювати різну кількість молотків на барабані і з різною формою їх робочих граней;
- змінювати співвідношення основного і контрольного компонента та крупність продуктів подрібнення;
- регулювати частоту обертання ротора шляхом зміни шківів різного діаметра;
- записувати показники споживання електроенергії за допомогою електричного самописця Н 379, включеного у електричну схему приводу установки.

Схема приводу експериментальної установки наведена на (рис. 2).

Загальний вигляд удосконаленого подрібнювача-змішувача та його робочі органи наведені на рис. 3 та 4.



**Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки**



*a*

*б*

**Рис. 4. Робочі органи дробарки-змішувача:**

*a* – решето; *б* - молотки серійний (внизу) та експериментальний (зверху)

В процесі проведення дослідів користувалися різними методами: безпосереднього вимірювання та співставлення прямих показників (наприклад, час надходження і витрати вихідних компонентів крізь завантажувальне вікно заданого розміру в камеру подрібнювання-змішування, вихід продуктів подрібнення за рівні проміжки часу, співвідношення компонентів в одержуваній суміщі, розмір часток продуктів подрібнення); шляхом записування на діаграми потужності, що споживається приводом експериментальної установки, з наступним їх розшифруванням і визначенням витрат енергії.

### **1.3. Відбір проб для оцінки показників технологічного процесу**

Щоб визначити, наскільки змішування компонентів в процесі їх одночасного подрібнення в робочій камері молоткової дробарки забезпечує одержання однорідної сумішки, передбачалось дослідити показники рівномірності змішування в процесі подрібнення попередньо сформованих сумішок вихідних компонентів із заданими характеристиками, а також віддозованих зернових потоків, які надходять одночасно в робочу камеру дробарки.

Зміна агрегатного стану вихідної сировини в процесі подрібнення молотковою дробаркою накладає певні передумови вибору контрольного компоненту та способу виділення його з відібраних проб. Традиційні методи, що застосовуються при змішуванні, наприклад, введення насіння, яке істотно відрізняється за якоюсь із розрізняючих ознак (зокрема, коефіцієнт тертя, вологість, колір, щільність тощо) від основних компонентів комбікорму не можуть бути використані через складність виділення контрольного компоненту з відібраних після подрібнення проб.

Враховуючи недоліки відомих при змішуванні методів як контрольний компонент ми використали чавунний порошок з розміром часток не більше 0.5 мм. Попередня перевірка [13] показала, що певні відмінності чавунного порошку від подрібнених зернових компонентів за об'ємною масою та

розміром часток не спричиняють самосепарації одержаної сумішки. Останній протидіють значні фрикційні властивості як самого контрольного, так і продуктів подрібнення зернових компонентів, а також інтенсивна взаємодія між вказаними компонентами та робочими органами дробарки. Основна ж перевага запропонованого компоненту полягає в тому, що він легко виділяється з відібраних проб за допомогою постійного магніту.

Для відбору проб комбікорму після дробарки-змішувача використовували секційний візок з механізованим приводом, який пересувається на рейкових напрямних. Візок має вісім секцій, розділених між собою тонкими перегородками. Всі секції однакової ширини (77 мм). Для забезпечення рівномірної швидкості переміщення візка під розвантажувальною горловиною дробарки застосовували електропривід.

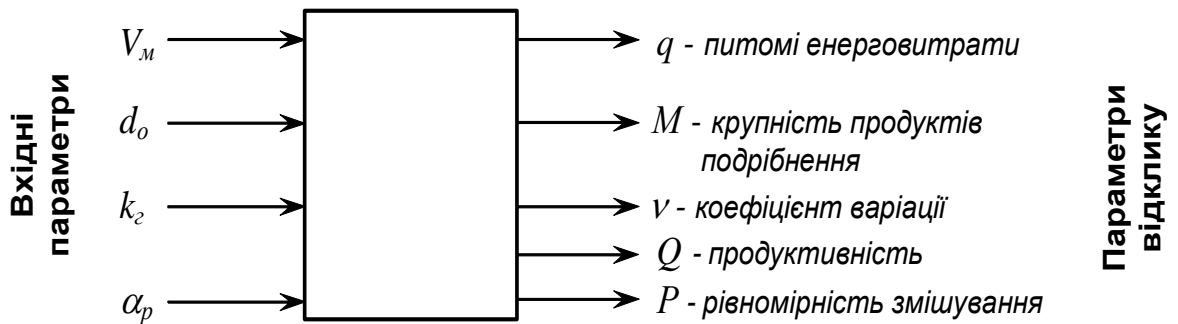
Відбір суміші в секції відбувався під час переміщення візка під розвантажувальною горловиною (рис 1) дробарки при проведенні чергового досліду. Порції сумішки вибирали з кожної секції окремо. Після чого ці порції зважували і за допомогою постійного магніту відокремлювали з кожної із них контрольний компонент (чавунну стружку). Далі, для кожної секції зважували сумішку подрібнених зернових компонентів та контрольного компоненту і визначали їх співвідношення.

#### **1.4. Планування експериментальних досліджень**

Дослідження процесу одночасного подрібнення та змішування компонентів комбікормів, визначення закономірностей взаємозв'язку його параметрів здійснювали за принципом системного аналізу.

За результатами аналізу літературних даних та попереднього ранжирування проведено відсіювання взаємозалежних і несуттєвих факторів. Таким чином було виділено основні фактори, які незалежні між собою і безумовно впливають на показники ефективності процесу подрібнення-змішування кормів.

Для вибору оптимального співвідношення факторів розглядали процес подрібнення-змішування як кібернетичну схему (рис. 5).



**Рис. 5. Схема процесу подрібнювання-змішування кормів**

Ефективність процесу подрібнення-змішування кормів досліджували залежно від таких керованих факторів:

$V_m$  – швидкість молотків, м/с;

$d_o$  – розмір отворів решета, мм;

$k_2$  – щільність розміщення молотків на барабані;

$c$  – доля контрольного компонента, %;

$\Phi$  - форма молотка, прямокутна та шестигранна.

Інтервали і рівні варіювання вибраних факторів (табл. 1) обґрунтовані за результатами математичного експерименту, проведеного на ПЕОМ, а також узагальнення матеріалів наукових досліджень процесів подрібнення зернових кормів молотковими дробарками. Математичний експеримент дозволив до проектування експериментальної установки і проведення досліджень попередньо проаналізувати процеси одночасного подрібнення і змішування компонентів комбікормів, пересвідчитись у правильності вибору основних факторів і обґрунтувати інтервали їх варіювання.

Рівні та інтервали варіювання досліджуваних параметрів  
подрібнювача-змішувача

Найменування факторів	Позначення		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	натуральне	кодоване	-1	0	+1	
Швидкість молотків, м/с	$v_m$	$X_1$	55	65	75	10
Розмір отворів решета, мм	$d_o$	$X_2$	4	5	6	1
Щільність розміщення молотків на барабані	$k_z$	$X_3$	0,6	0,85	1,1	0,25
Кут обхвату робочої камери решетом, град	$\alpha_p$	$X_4$	60	150	240	90

Для проведення досліджень було вибрано ортогональний рототабельний план  $2^4$  (додаток Б). Щоб виключити грубі похибки (відхилення) та оцінити дисперсію відтворення, вибрали три паралельних досліди. З метою виключення впливу систематичних похибок, які спричиняються коливанням характеристик досліджуваних матеріалів, проводили рандомізацію, суть якої полягає в тому, щоб вибрати послідовність проведення дослідів за допомогою таблиці випадкових чисел [5].

### 1.5. Визначення витрат енергії

При проведенні експериментальних досліджень визначали потужність, яку споживає електропривод установки на холостому ході та під навантаженням.

Діаграми споживання потужності записували за допомогою самописного приладу Н-379. Середню потужність, що споживалась за період проведення дослідів, знаходили шляхом вимірювання площі діаграм планіметром.

Потужність  $N_y$  на подрібнювання-змішування кормових компонентів становить:

$$N_y = N_n \eta, \quad (1.1)$$

де  $N_n$  – потужність, яку споживає електродвигун при досліджуваному навантаженні (за даними діаграми), кВт;

$\eta$  – к.к.д. електродвигуна при відповідному навантаженні.

Питому енергоємність  $q$  (кДж/кг) процесу подрібнювання-змішування визначали за формулою:

$$q = \frac{N_y}{Q}. \quad (1.2)$$

Продуктивність установки  $Q$  (кг/с) – це відношення маси порції кормових компонентів  $G$ , що завантажуються в камеру подрібнення, до часу  $t$  його переробки:

$$Q = \frac{G}{t}. \quad (1.3)$$

Час переробки кожної порції кормових компонентів фіксували секундоміром та уточнювали за енергетичною діаграмою, записаною самописним приладом.

## 1.6. Оцінка якості обробки кормів

Основні зоотехнічні вимоги до технологічного процесу і технічних засобів приготування комбікормів – це якість подрібнення та змішування компонентів.

Повна якісна характеристика продуктів подрібнення кормових матеріалів включає такі показники: фракційний склад, середній розмір часток (модуль  $M$ ), середньоквадратичне відхилення (дисперсія  $\sigma^2$ ) та ступінь нерівномірності (коефіцієнт варіації  $v$  фракційного складу).

Фракційний склад продуктів подрібнення визначали за результатами просіювання відібраних проб на решітному класифікаторі згідно ДСТУ ІСО



2591–1:2004 «Ситовий аналіз». Проби і фракції продуктів подрібнення зважували на лабораторних терезах ВЛТК-500 з похибкою  $\pm 0,01$  г.

Модуль помелу ( $M$ ) визначали за рівнянням:

$$M = \frac{0,1P_0 + 0,6P_{0,2} + 1,5P_1 + 2,5P_2 + 3,5P_3}{N}, \quad (1.4)$$

де  $P_0$  – маса (г) залишку на дні коробки (пиловидна фракція), г;

$P_{0,2}; P_1; P_2; P_3$  – маса (г) фракцій на решетах з отворами відповідно 0,2; 1; 2, 3 мм;

0,1; 0,6; 1,5; 2,5; 3,5 – коефіцієнти, які характеризують середній розмір часток кожного залишку, мм. Визначаються як середня величина розміру отворів решіт над і під відповідною фракцією;

$N$  – загальна маса наважки, г.

Коефіцієнт варіації  $\nu$  фракційного складу продуктів подрібнення становить:

$$\nu = \frac{\sigma}{M} \cdot 100, \quad (1.5)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення, мм:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (l_i - M)^2 \cdot P_i}{N(n-1)}}, \quad (1.6)$$

$l_i$  – середній розмір часток кожного залишку. Для приведених вище фракцій відповідно 0,1; 0,6; 1,5; 2,5; 3,5 мм;

$n$  – кількість фракцій (залишків).

$\sum_0^l G$  – маса проби, г.

Рівномірність змішування оцінювали за розподілом контрольного компоненту у пробах, взятих із секцій відбірника, встановленого на візку (див. рис. 1). При цьому важливе значення має вибір і методика визначення кількості контрольного компоненту. За контрольний компонент при змішуванні кормів часто беруть цілі зерна ячменю, вівса або насіння цукрових буряків 3-5мм [2, 3] в кількості 1% по відношенню до маси кормової суміші. Проте для випадку

змішування в процесі подрібнення вихідної сировини такий контрольний компонент не можливо виділити із сумішки. Тому, як було відмічено вище, за контрольний компонент ми взяли порошок чауну.

Аналіз методик досліджень процесу змішування [4] свідчить, що для оцінки рівномірності суміші найчастіше користуються коефіцієнтом варіації  $v$  розподілу в ній контрольного компонента:

$$v = \frac{100}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (1.7)$$

де  $X_i$  – концентрація контрольного компонента в  $i$ -ій пробі, г;

$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$  – середнє арифметичне значення концентрації цього компонента;

$n$  – кількість проаналізованих проб.

Для забезпечення достатньої точності оцінки якості змішування проби відбирали через рівні проміжки часу на виході готової кормосуміші з подрібнювача-змішувача з кожної із 8 секцій. Кожен дослід проводили в 3-кратній повторності.

### 1.7. Проведення експерименту та обробка результатів

Відомі кілька планів другого порядку з різними властивостями. Серед них одним із досконаліших є  $D$ -оптимальні плани (моделі), які базуються на теорії спільних ефективних оцінок. Головна перевага  $D$ -оптимальних планів в тому, що вони передбачають варіювання досліджуваних факторів і зводять до мінімуму узагальнену дисперсію.

Для проведення експерименту вибрали матрицю, близьку до  $D$ -оптимального плану з чотирьох факторів, яка дозволяє визначити коефіцієнти при квадратичних членах. Матриця плану експерименту приведена в додатку Б. Чотирирівневий план Бокса порівняно з ортогональними і рототабельними планами при тих же властивостях є економічнішим щодо кількості дослідів.

За результатами повнофакторного експерименту (ПФЕ) [5] можна визначати до 15 коефіцієнтів регресії для рівнянь типу:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + \\ & + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_1x_2^2 + b_2x_2^2 + \\ & + b_3x_3^2 + b_4x_4^2. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Результати експериментальних досліджень обробляли за методами математичної статистики та теорії ймовірності з використанням програми EXCEL та STATISTICA. Вказані програми дозволяють за вихідними та одержаними експериментальними даними визначати середні значення відповідного критерію оптимізації, середньоквадратичні відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу, коефіцієнти кореляції між змінними параметрами, а також коефіцієнти регресії.

Загальну кількість дослідів  $N$  повнофакторного експерименту підраховували за виразом:

$$N = 2^n, \quad (1.9)$$

де  $n$  – кількість змінних факторів.

2 –кількість рівнів змінних факторів, що досліджувалися.

## 2. Результати досліджень

### 2.1. Оцінка якості одночасного подрібнення кормових компонентів з різними вихідними характеристиками

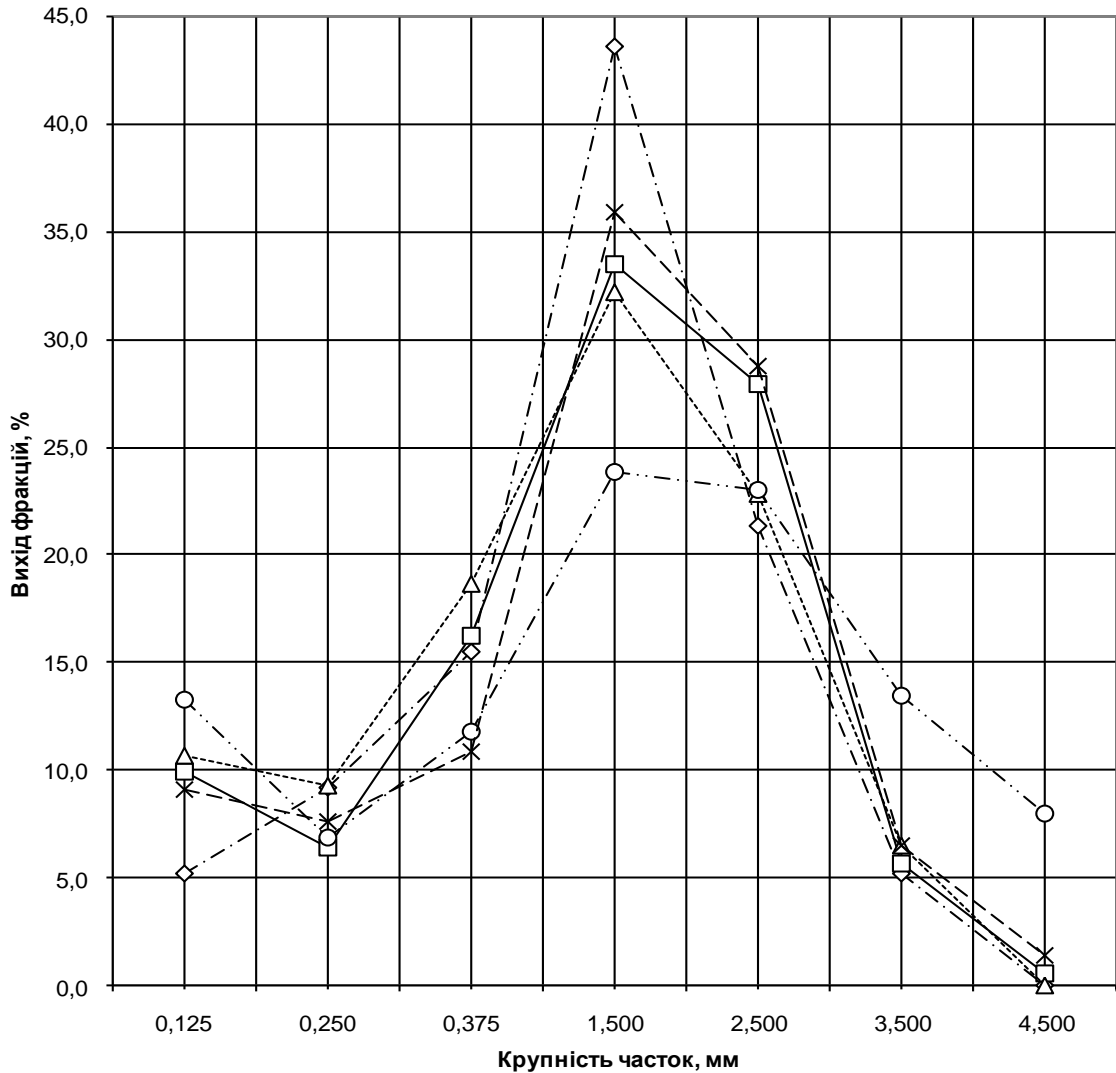
У випадку одночасного подрібнення і змішування інгредієнтів комбікормів молоткова дробарка суміщає виконання двох технологічних операцій, кожна з яких має задовольняти своїм зоотехнічним вимогам.. Тому результати ефективності роботи молоткової дробарки у даному варіанті слід оцінювати за двома напрямками [13]:

- якість подрібнення (середній розмір часток та рівномірність фракційного складу) сумішок вихідних компонентів у порівнянні з варіантом переробки кожного з компонентів окремо;
- рівномірність перерозподілу (змішування) всіх компонентів в складі одержуваного комбікорму.

В першій серії експериментальних досліджень проведена порівняльна оцінка показників якості подрібнення вихідних компонентів комбікорму (зерно ячменю, пшениці, кукурудзи, гороху та вівса), а також їх сумішок. Подрібнення як вихідних зернових компонентів, так і сформованих з них сумішок проводили за однакових режимів: решето з діаметром отворів 6 мм, швидкість молотків 65 м/с, подача сировини в камеру подрібнення – відповідно номінальному навантаженню електропривода.

Результати визначення характеристик (вологість вихідних зернових компонентів та їх сумішок) наведені в табл. 2, а криві розподілу продуктів їх подрібнення – на рис. 6. Приведені дані свідчать, що за однакових параметрів молоткової дробарки при переробці зерна різних культур і вологості одержані продукти з неоднаковими показниками якості подрібнення. Так, середній розмір часток продуктів подрібнення мав розходження в межах 10-17 %, а рівномірність їх фракційного складу – 5-13 %.

Відмічені відмінності вказаних показників можна пояснити, зокрема, різною здатністю до подрібнення, яка крім виду зерна залежить також від його вологості.



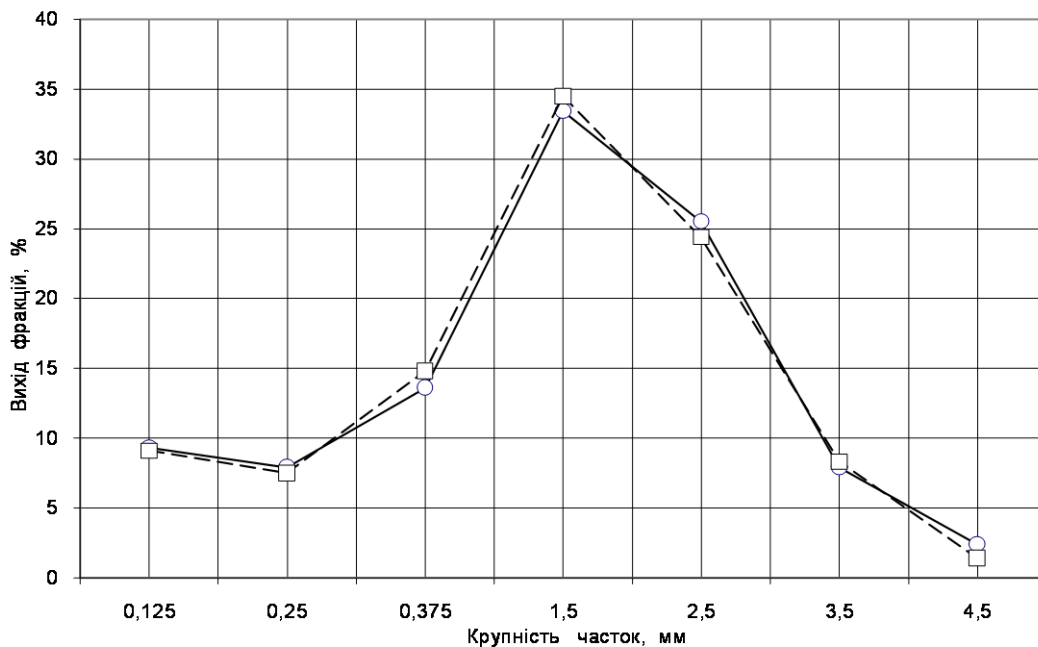
**Рис. 6. Розмірні характеристики продуктів подрібнення зернових компонентів:**

—◇— ячмінь; —□— пшениця; ---Δ--- кукурудза;  
 --○-- горох; —х— овес

Наприклад, продукти переробки зерна гороху, яке має найгіршу здатність до подрібнення (відноситься до нижчої третьої групи класифікації зернових матеріалів за вказаною ознакою) і мало до того ж найвищу з досліджуваних

компонентів вологість (16,6 %), відзначалися крупнішими частками і більшою нерівномірністю фракційного складу. Вихід недостатньо подрібнених часток (більше 3 мм) становив 21,4 %, а надмірно подрібнених (до пилоподібного стану) – 13,2 %.

При переробці ж зерна ячменю, що відноситься до першої групи за здатністю до подрібнення, було одержано найбільш рівномірний фракційний склад продукту. Залишки на решеті з діаметром 4 мм класифікатора в разі подрібнення вівса спричинені наявністю в нього міцної півчастої оболонки, яка погано подрібнюється дробаркою, а у випадках з горохом і пшеницею – підвищеною вологою їх зерна.



**Рис. 7. Розмірні характеристики комбікормів одержаних**

- в процесі подрібнення зерноsumішки;
- при змішуванні попередньо подрібнених компонентів

Результати порівняльних досліджень також показали, що при переробці молотковою дробаркою зернових сумішок практично відсутній взаємовплив перероблюваних компонентів. Якісні показники продуктів подрібнення визначаються, в першу чергу, технологічними властивостями вихідних

компонентів (див. додаток В). Показники (одержані як середньозважені за відповідними даними вихідних компонентів пропорційно їх долі в складі сумішки) стосовно середнього розміру часток і рівномірності фракційного складу продуктів подрібнення зернової сумішки з високою точністю співпадають з експериментальними (рис. 7). Відхилення щодо середньозваженої крупності продукту становила 3,1 %, а за рівномірністю його фракційного складу становила менше 1 %.

## **2.2. Вплив основних параметрів дробарки на ефективність процесу подрібнювання-змішування компонентів**

В результаті реалізації плану багатофакторного експерименту були одержані дані про ефективність процесу одночасного подрібнення і змішування інгредієнтів комбікормів в молотковій дробарці при використанні молотків прямокутної та шестикутної форми.

### **2.2.1. Швидкість молотків**

Загальновідомо, що стосовно процесу подрібнення кормів швидкість молотків є найхарактернішим фактором молоткових дробарок. Проте в науково-технічній літературі практично відсутні матеріали про вплив цього параметра на якість змішування компонентів в процесі їх одночасного подрібнення.

Відповідно до рівнянь регресії які були одержані на основі експериментальних даних побудовані графіки, які відображають характер впливу швидкості молотків на показники якості (див. додаток Г та Е) та ефективності (див. додаток Д та Ж) процесу потокового приготування комбікормів молотковою дробаркою. Наведені графіки свідчать, що в досліджуваному інтервалі швидкості молотків ( $V_m = 50-80$  м/с) рівномірність змішування компонентів практично не змінюється та знаходиться на достатньо

високому рівні:  $P = 92-95 \%$ . Цей рівень цілком задовольняє діючим зоотехнічним вимогам (не менше  $90 \%$ ) [7, 11].

На показники якості подрібнення (середній розмір часток одержуваного продукту або модуль помелу  $M$  та рівномірність його фракційного складу – оцінюється за коефіцієнтом варіації  $v$ ) найсуттєвіше впливають швидкість молотків та розміри отворів решіт, в меншій мірі – кут обхвату ними робочої камери дробарки і майже не змінює цих показників густота розміщення молотків на барабані. При цьому між крупністю  $M$  продуктів подрібнення відмічена зворотня, а коефіцієнтом варіації  $v$  їх фракційного складу обернена залежність.

Так, при збільшенні розміру отворів решіт в 1,5 рази (з 4 до 6 мм) модуль помелу  $M$  зростає на 33-56 %, а коефіцієнт варіації  $v$  знижується на 6-22 % (див. додаток Г); зростання кута обхвату з  $60^\circ$  до  $240^\circ$  (тобто в 4 рази) підвищує показник  $M$  на 12-25 %, а коефіцієнт  $v$  зменшує на 20 %; двократне ж збільшення щільності розміщення молотків (коефіцієнт  $k_r$  з 0,66 до 1,1) зменшує модуль помелу до 5 % без зміни коефіцієнта  $v$  (див. додаток Е).

Експериментальні молотки шестикутної форми в наших дослідах забезпечували підвищення продуктивності установки від 6 до 24 % і зменшення питомих енергозатрат на 4-23 %. Менші значення відповідають варіантам з решетом при куті обхвату  $60^\circ$  і  $d_0 = 5$  мм, а густоті розміщення молотків на барабані  $k_r = 0,66$ .

Відмічена ефективність молотків шестикутної форми пояснюється тим, що вони підсилюють радіальні складові швидкості часток продуктів подрібнення [1, 8], завдяки чому покращуються умови їх просіювання крізь отвори решіт і зменшується час перебування в робочій камері.

Слід зазначити, що показники якості подрібнення кормів при цьому майже не змінюються порівняно з використанням молотків прямокутної форми: крупність продукту зростає лише на 2-4 %, але на стільки ж покращується рівномірність його фракційного складу. Практично без змін залишаються й показники рівномірності змішування компонентів (див. додаток Г та Е).



### 2.2.2. Щільність розміщення молотків на барабані

Зміна щільності розміщення молотків на барабані дробарки в межах дослідженого інтервалу (коефіцієнт  $k_r = 0,66-1,1$ ) суттєво не змінює показників якості як подрібнення, так і змішування кормових компонентів (див. додаток З). Істотніший вплив коефіцієнта  $k_r$  відмічено стосовно продуктивності установки та питомої енергомісткості процесу приготування комбікормів (див. додаток К). Причому характер цього впливу залежно від форми молотків, розміру отворів ( $d_o$ ) решіт і кута обхвату ( $\alpha_p$ ) ними поверхні робочої камери дробарки не однозначний.

У варіанті з молотками прямокутної форми збільшення щільності їх розміщення на барабані з  $k_r = 0,66$  до  $k_r = 1,1$  лише при використанні решета з діаметром отворів 6 мм мало місце зростання продуктивності на 11 % (див. додаток К). При меншому ж розмірі отворів решіт навіть збільшення кута  $\alpha_p$  не забезпечувало підвищення продуктивності установки. Так, збільшення  $k_r$  у зазначених межах при  $d_o = 4$  мм і  $\alpha_p = 60^\circ$  продуктивність знизилась на 6 %; при  $d_o = 5$  мм і  $\alpha_p = 150^\circ$  – на 25 % і  $\alpha_p = 240^\circ$  – на 3%.

При використанні ж молотків шестикутної форми у всіх випадках продуктивність установки зростала в досліджених межах збільшення  $k_r$ . Але й у варіанті з такими молотками продуктивність зростала інтенсивніше за умов збільшення розміру отворів та кута обхвату решіт. Наприклад, підвищення  $k_r$  у означених межах при  $\alpha_p = 150^\circ$  і  $d_o = 4$  мм забезпечило зростання продуктивності лише на 5 %, а при  $d_o = 6$  мм – на 13 % (див. додаток К); при  $d_o = 5$  мм і  $\alpha_p = 60^\circ$  – на 7 %, а при  $\alpha_p = 240^\circ$  – на 12 %.

Пояснити відмічені закономірності можна посилаючись на відомі з науково-технічної інформації положення про існування оптимальної щільності розміщення молотків на барабані в межах  $k_r = 0,5-1$ , а також тим, що в разі достатньо високої швидкості переміщення перероблюваного шару решітною поверхнею пропускна здатність останньої знижується. Оскільки при використанні решіт з отворами малого розміру та зменшенні кута обхвату ними робочої камери і так ускладнені умови просіювання продукту крізь сепаруючу

поверхню, то збільшення на барабані щільності молотків, форма робочих граней яких не сприяє підсиленню радіальних потоків, підсилює швидкість переміщення шару поверхнею решіт і цим зменшує їх пропускну здатність.

Питома ж енергомідкість технологічного процесу у всіх випадках є величиною обернено пропорційною продуктивності установки і кінцевій крупності продуктів подрібнення, що й знаходить своє відображення на приведених графіках (див. додаток К).

Отже і в поєднанні з параметром  $k_r$  шестикутна форма молотків має помітні переваги порівняно з прямокутними, особливо при використанні решіт з отворами діаметром 4 мм продуктивність установки підвищується на 29-32 %, а з отворами  $d_o = 6$  мм – на 12-28 %. Питома енергомідкість процесу при цьому знижується на 4-8%.

### **2.2.3. Розміри отворів решіт**

Після швидкості молотків саме цей параметр найсуттєвіше впливає на ефективність переробки кормів молотковою дробаркою. У варіантах закритого виконання камери подрібнювання зміною решіт (за розміром отворів) регулюють крупність одержуваного продукту.

Рівномірність фракційного складу продуктів подрібнення дещо покращується в міру збільшення розміру отворів решіт та кута обхвату ними робочої камери дробарки (див. додаток Л). Це явище цілком закономірне, оскільки коефіцієнт варіації  $v$  фракційного складу продуктів подрібнення, як відомо [9, 10, 12] зменшується пропорційно підвищенню модуля помелу.

Залежно від розміру отворів решіт не відмічено суттєвого впливу на якісні показники подрібнення форми молотків в поєднанні із щільністю їх розміщення на барабані. Різниця між значеннями показників якості подрібнення при прямокутній та шестикутній формах молотків не перевищувала 1-3 %.

Практично не залежить від розміру отворів решіт рівномірність змішування кормових компонентів в процесі їх подрібнення і становить 93-

95%. У варіанті з молотками шестикутної форми показник рівномірності змішування на 1-2 % покращується в результаті зменшення  $\alpha_p$  з 240 до 60°, що можна пояснити певним збільшенням часу перебування продукту в робочій камері.

Результати досліджень показали, що крім крупності продуктів подрібнення параметр  $d_o$  досить суттєво впливає й на продуктивність установки та питому енергомісткість технологічного процесу (див. додаток М). Так, в наших дослідах при заміні решета з діаметром отворів  $d_o = 4$  мм на решето з  $d_o = 6$  мм при куті обхвату ним робочої камери  $\alpha_p = 150^\circ$  і молотків прямокутної форми продуктивність зросла в 1,26-1,74 рази, а питома енергомісткість знизилась в 1,83-2,6 рази. За тих же умов, але з молотками шестикутної форми зміна названих показників становили відповідно 1,33-1,54 та 2,67-3,1 рази. Крупність продукту при цьому збільшилась на 30-40% (рис 14).

Залежно від розміру отворів решіт, кута обхвату ними робочої камери та щільності розміщення молотків на барабані шестикутна форма останніх при незначному збільшенні модуля помелу продуктів подрібнення (до 3 %) забезпечувала підвищення продуктивності установки на 7-30 % і зниження питомих енергозатрат від 4 до 41 %.

## Висновки

1. Показники якості подрібнення зернових компонентів, а також їх сумішок за однакових параметрів молоткової дробарки залежать від виду зерна та його вихідних технологічних характеристик, зокрема здатності до подрібнення.

2. Встановлено, що молотки шестикутної форми за умов однакової якості переробки (подрібнення та змішування) забезпечують підвищення продуктивності установки і зниження питомих енергозатрат.

3. Крупність продуктів подрібнення кормових компонентів можна регулювати не лише встановленням решіт з різними розмірами отворів, але й зміною величини кута обхвату робочої камери решетом. При цьому останній варіант підвищує ефективність технологічного процесу.

4. Встановлено, що подібно до ефективності подрібнення кормів молотковою дробаркою, існує раціональний інтервал і доцільна межа підвищення швидкості молотків ( $V_m = 60-75$  м/с) і стосовно рівномірності перерозподілу компонентів в процесі їх одночасного змішування.

5. В раціональних межах ( $k_T = 0,7-1,0$ ) ефективного подрібнення щільність розміщення молотків на роторі дробарки практично не впливає на рівномірність змішування компонентів.

## Список використаної літератури

1. А. с. № 946654 (СССР) Молоток дробилки / И.И. Ревенко, - Опубл. 1982, Бюл. №28.
2. Карташов С.Г. Совершенствование рабочих органов размольно-смесительного оборудования и технологического процесса приготовления комбикормов в хозяйствах. – Автореферат диссертации к.т.н. – М.: 1985. – 24 с.
3. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешивания сыпучих материалов. – М.: Наука, 1985. – 440 с.
4. Козелов Л., Санчев С. Участвія на амонізіран царевичен силаж в дажбите на телета за угодяване // Животновъд. науки, 1994. – 31. №5-6. – С. 72-75.
5. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168с.
6. ОСТ 70.19.2-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний. – М.: Госкомсельхозтехника, 1984. – 114 с.
7. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств /І.І.Ревенко, В.Д. Роговий, В.І.Кравчук та ін.; За ред.. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1999. – 192 с.
8. Ревенко И.И. Анализ движения частиц в камере молотковой дробилки, условий загрузки сырья и отвода продукта // Мех. и электр. сел. хозяйства. – К.: Урожай, 1984. Вып. 60. – С. 69-74.
9. Ревенко И.И. О повышении качества работы молотковых дробилок // Мех. и электр. Сел. хоз-ва. – 1980. - №8. – С. 18-21.
10. Ревенко И.И. Определение севкости решета молотковой кормодробилки // Механизация и электрификация сельского хозяйства, - 1981-. №11. – С. 53-54.

11. Ревенко І.І. Раціональні конструктивно-технологічні ознаки молоткових подрібнювачів кормів // Вісник сільськогосподарської науки. – 1982. - №12. – С. 46-49.
12. Ревенко І.І. Шляхи підвищення рівномірності подрібнення кормів молотковими дробарками // Вісник с.-г. науки. – 1982. - №1. – С. 42-45.
13. Ревенко Ю.І., Пилипенко О.М., Чибис С.М. Оцінка якості сумісного подрібнення і змішування компонентів комбікормів молотковою дробаркою // Зб. наук. праць НАУ: Мех. с.-г. вир-ва. К.: Вид-во НАУ, 2000. Т. IX. – С. 173-176.
14. Ревенко І.І., Пилипенко О.М., Чибис С.М., Ревенко Ю.І. Комплект без бункерного обладнання для приготування комбікормів / Зб. завершених наук. розробок: Вчені технічного інституту НАУ – виробництву. – К., 2006. – С. 61.
15. Ревенко І.І., Потапова С.Є., Ревенко Ю.І. Принципи розробки та вибору машин для малих ферм / Техніка АПК, 1999. – С. 26-27.
16. Ревенко І.І., Ревенко Ю.І. Комплексна оцінка варіантів приготування комбінованих кормів // Техніка АПК, 2000 - № 11-12. – С. 25-27.
17. Ревенко І.І., Ревенко Ю.І. Умови ефективного використання кормових ресурсів // Пропозиція, 2000. - №6. – С.100-103.

*ДОДАТКИ*

## Додаток А

### Фізико-механічні властивості зерна, використаного при виконанні експериментальних досліджень

Вид зерна	Вологість, %	Об'ємна маса, г/дм <sup>3</sup>	Розмір зерен, мм			Кут природного схилу, град		Коефіцієнт тертя
			довжина	ширина	товщина	в спокої	при роботі машини	
Ячмінь	11,3	645	7-11	2-3,7	1,3-3,5	25	13	0,29
Кукурудза	9,5	730	6-13	5,5-11	2,5-6,5	19	11	0,24
Пшениця	10,8	760	5-7,1	1,9-3,6	1-3,1	25	12	0,26
Овес	12,1	450	8-17	1,5-3,2	4-7,8	27	14	0,31
Горох	7,4	840	-	-	-	16	11	0,27



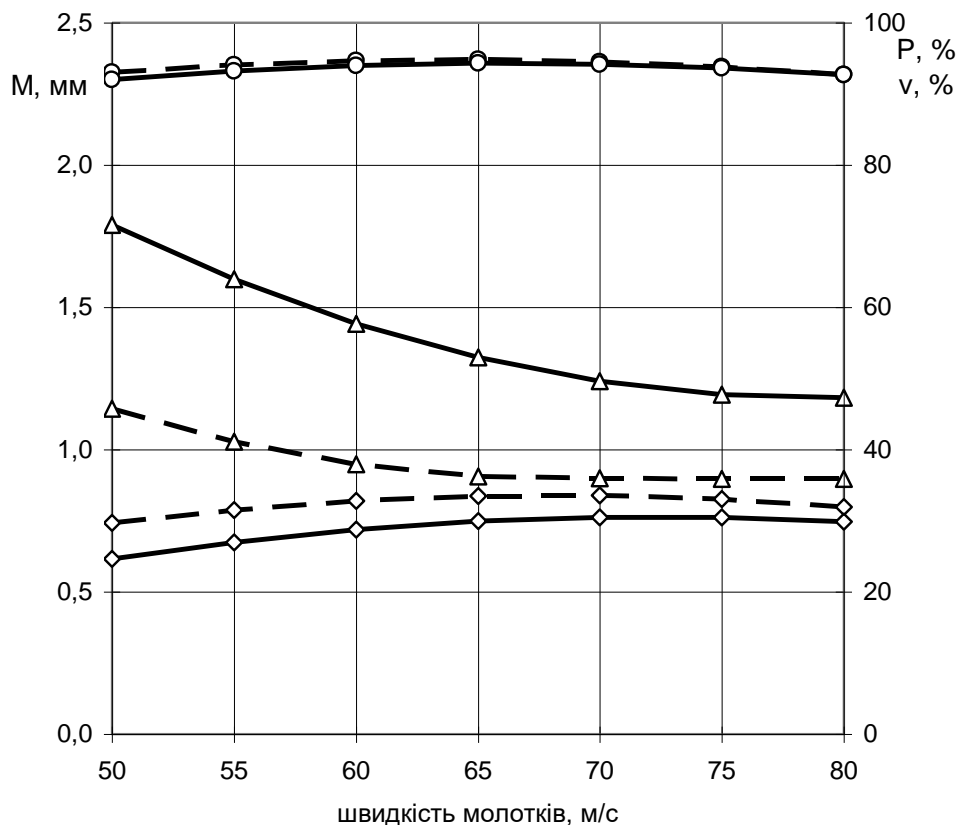
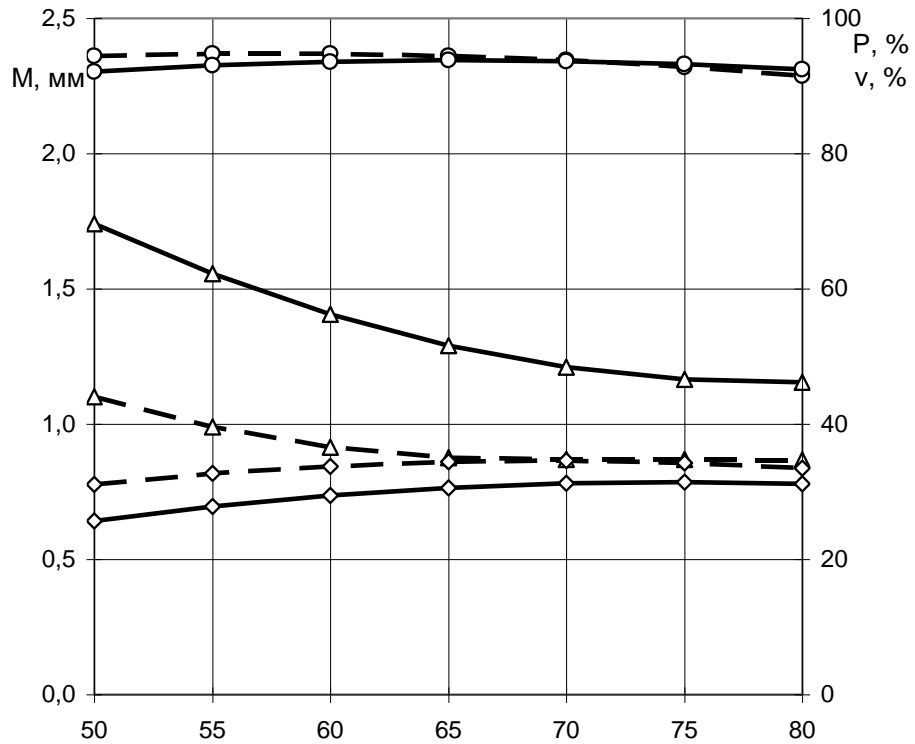
## Матриця плану проведення багатofакторного експерименту

№ досл.	Керовані фактори				№ досл.	Керовані фактори			
	X1	X2	X3	X4		X1	X2	X3	X4
1	1	1	1	0	19	1	0	-1	1
2	-1	1	1	0	20	1	0	1	-1
3	1	-1	1	0	21	-1	0	-1	1
4	1	1	-1	0	22	1	0	-1	-1
5	-1	-1	1	0	23	-1	0	1	-1
6	1	-1	-1	0	24	-1	0	-1	-1
7	-1	1	-1	0	25	0	1	1	1
8	-1	-1	-1	0	26	0	-1	1	1
9	1	1	0	1	27	0	1	-1	1
10	-1	1	0	1	28	0	1	1	-1
11	1	-1	0	1	29	0	-1	-1	1
12	1	1	0	-1	30	0	1	-1	-1
13	-1	-1	0	1	31	0	-1	1	-1
14	1	-1	0	-1	32	0	-1	-1	-1
15	-1	1	0	-1	33	0	0	0	0
16	-1	-1	0	-1	34	0	0	0	0
17	1	0	1	1	35	0	0	0	0
18	-1	0	1	1					

Таблиця В

## Характеристика зернових компонентів та продуктів їх подрібнення

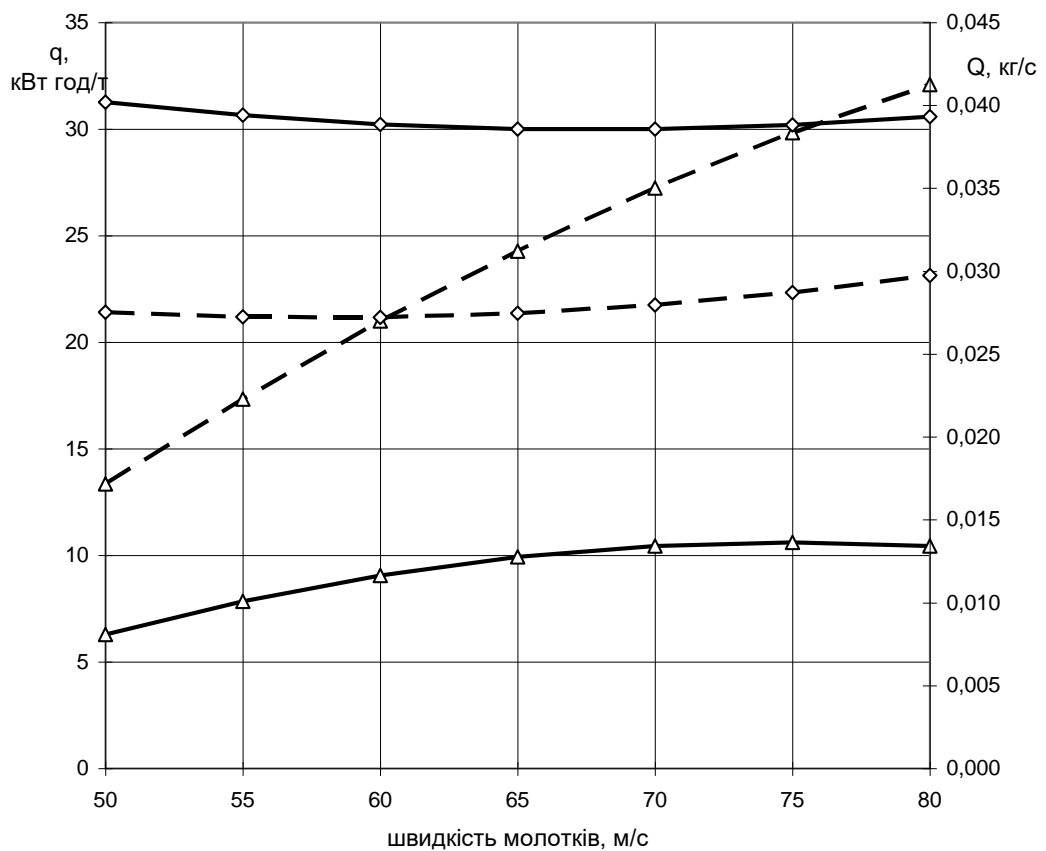
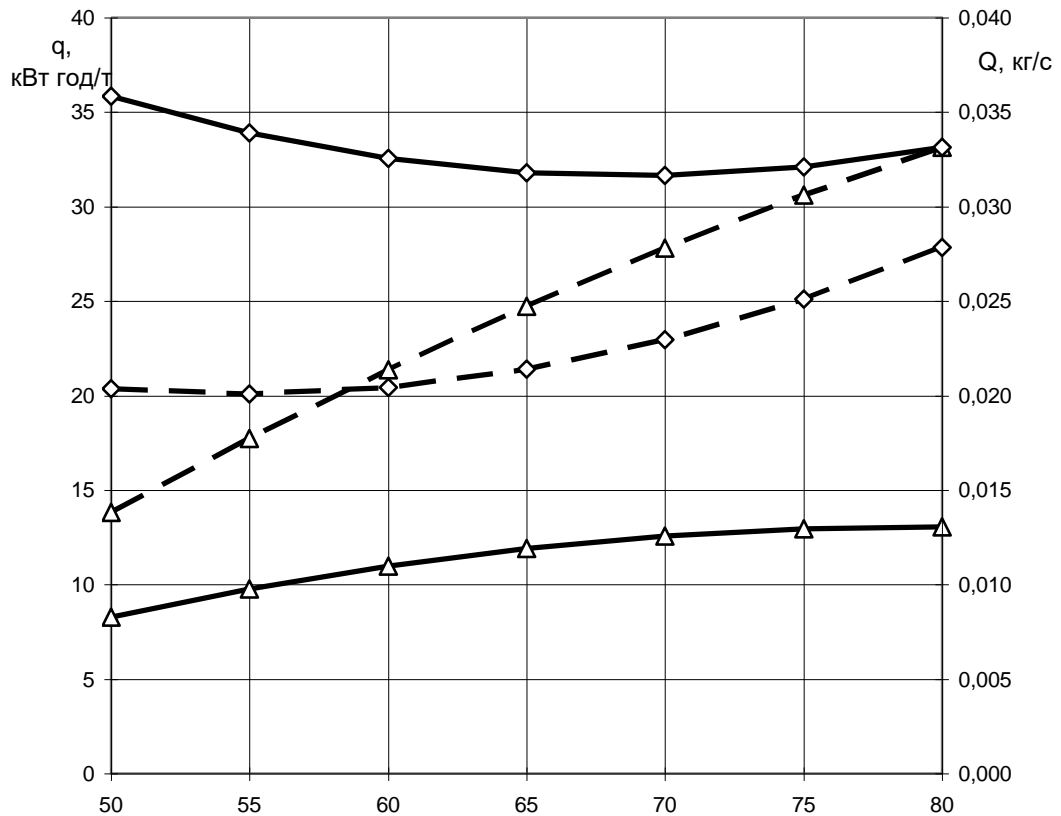
Назва показника		Вид зерна					Сумішка	
		ячмінь	пшениця	кукурудза	горох	овес	фактична	розрахункова
Вологість, %		12,7	16,0	14,6	16,6	12,6	14,4	14,4
Доля в сумішці, %		30	20	25	15	10		
Маса (g) фракції на решеті з розміром отворів, мм	0	5,2	9,9	10,6	13,2	9,1	9,3	9,1
	0,25	9,2	6,4	9,3	6,8	7,6	7,9	7,5
	0,5	15,5	16,2	18,6	11,8	10,8	13,6	14,8
	1,0	43,6	33,5	32,2	23,8	35,9	33,4	34,5
	2,0	21,3	27,9	22,8	23,0	28,7	25,5	24,4
	3,0	5,2	5,6	6,5	13,4	6,5	7,9	8,3
	4,0	-	0,5	-	8,0	1,4	2,4	1,4
Модуль помелу, мм		1,53	1,58	1,47	1,89	1,67	1,67	1,62
Середньо квадратичне відхилення розміру часток, мм		0,38	0,45	0,43	0,54	0,41	0,43	0,42
Коефіцієнт варіації фракційного складу продукту, %		24,8	28,5	29,3	28,6	24,6	25,7	25,9



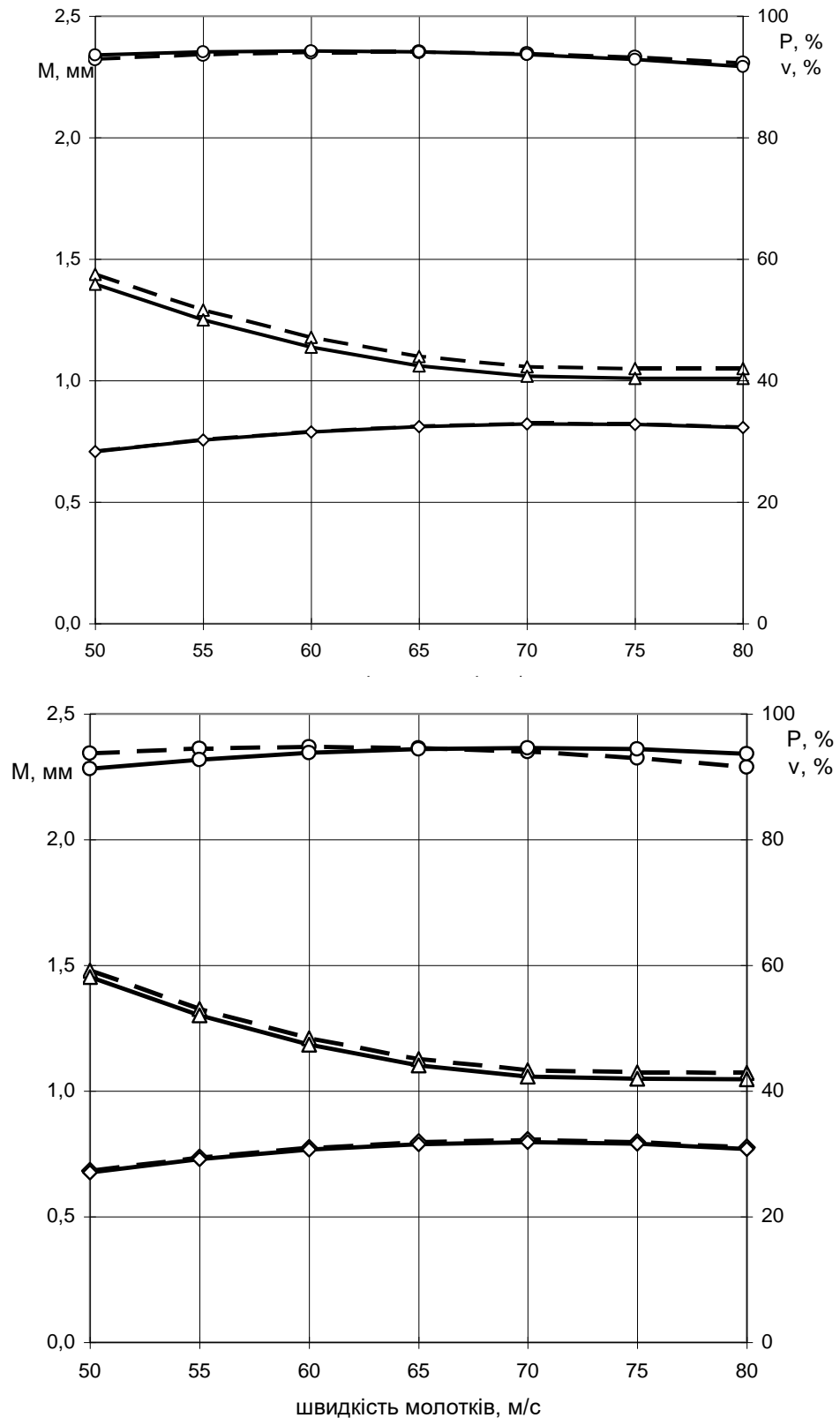
**Вплив швидкості молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми ( $k_r = 0.88$ ) на якісні показники процесу приготування комбікормів при використанні решіт з отворами діаметром 4 мм (- - -) та 6 мм (—) і  $\alpha_p = 150^\circ$ :**

$\Delta$  – модуль помелу;  $\diamond$  – коефіцієнт варіації фракційного складу продуктів подрібнення;  
 $\circ$  – рівномірність змішування компонентів.

Додаток Д

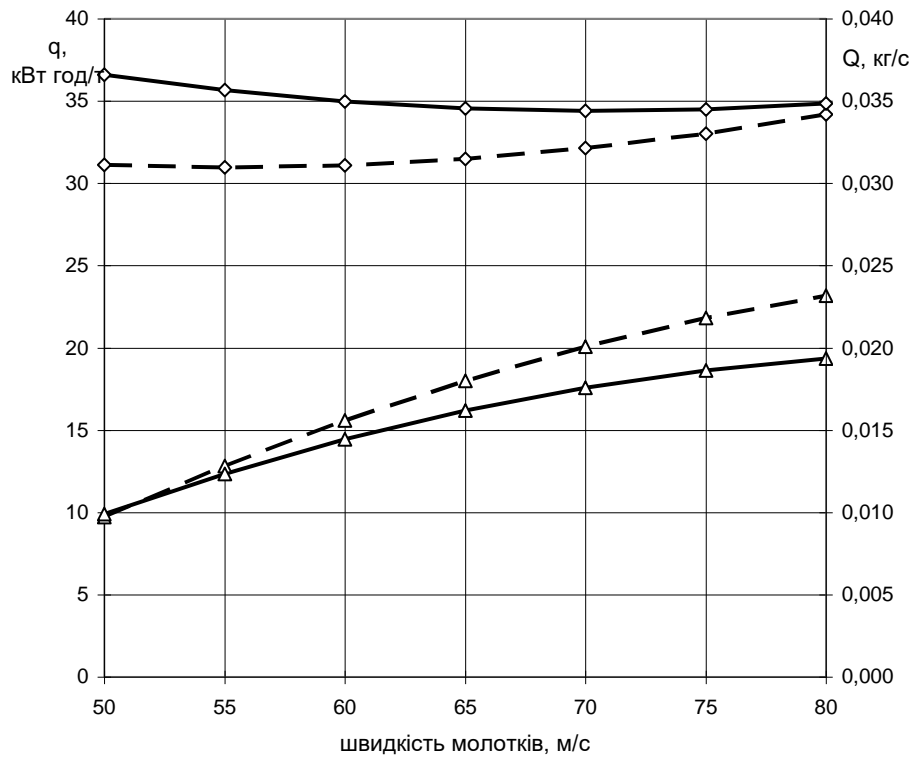
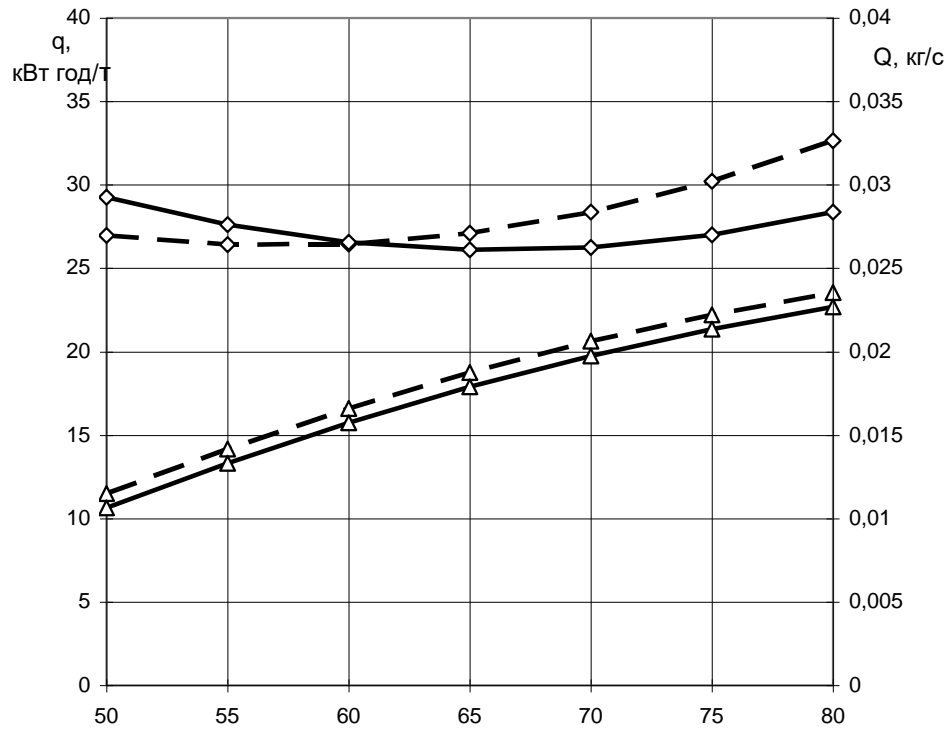


**Залежність продуктивності ( $\diamond$ ) установки та питомої енергомосткості ( $\Delta$ ) процесу приготування комбікормів від швидкості молотків ( $k_r = 0,88$ ) прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми при використанні решіт ( $\alpha_p = 150^\circ$ ) з отворами діаметром 4 мм (- - -) і 6 мм (—)**

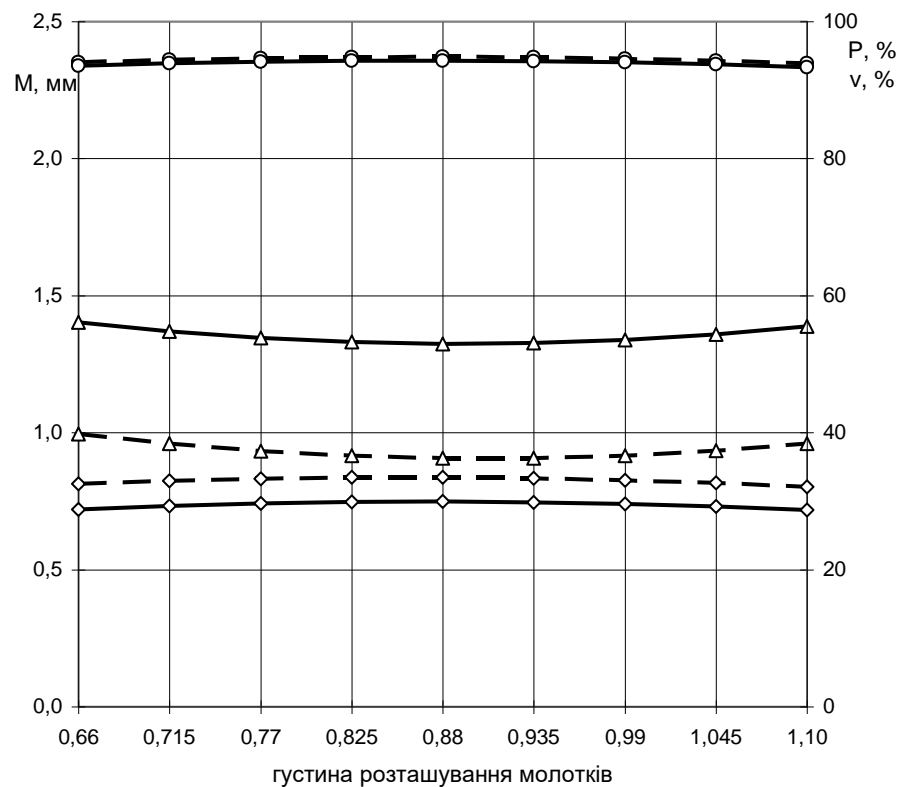
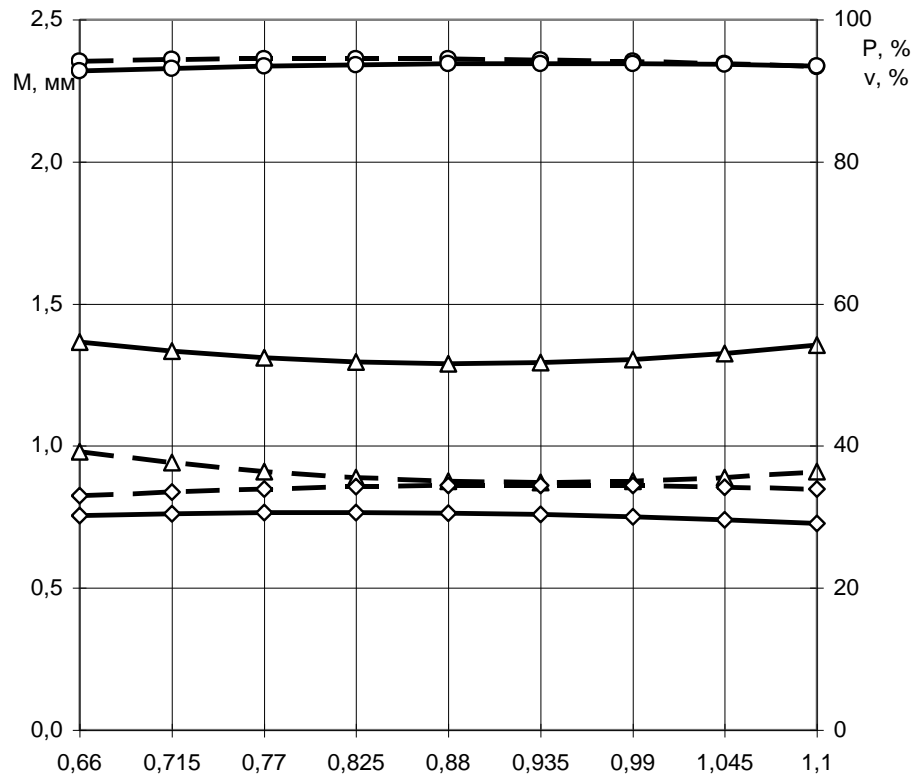


**Вплив швидкості молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми при щільності їх розміщення на барабані  $k_r = 0,66$  (- - -) і  $k_r = 1,1$  (—) на якісні показники процесу приготування комбікормів ( $d_o = 5$  мм і  $\alpha_p = 150^\circ$ ):**

- Δ – модуль помелу;
- ◇ – коефіцієнт варіації фракційного складу продуктів подрібнення;
- – рівномірність змішування компонентів.



**Залежність продуктивності ( $\diamond$ ) установки та питомої енергомосткості ( $\Delta$ ) процесу приготування комбікормів від швидкості молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми при щільності їх розміщення на барабані  $k_{Г} = 0,66$  (---) і  $k_{Г} = 1,1$  (—) і використанні решета  $d_0 = 5$  мм,  $\alpha_p = 150^\circ$ .**

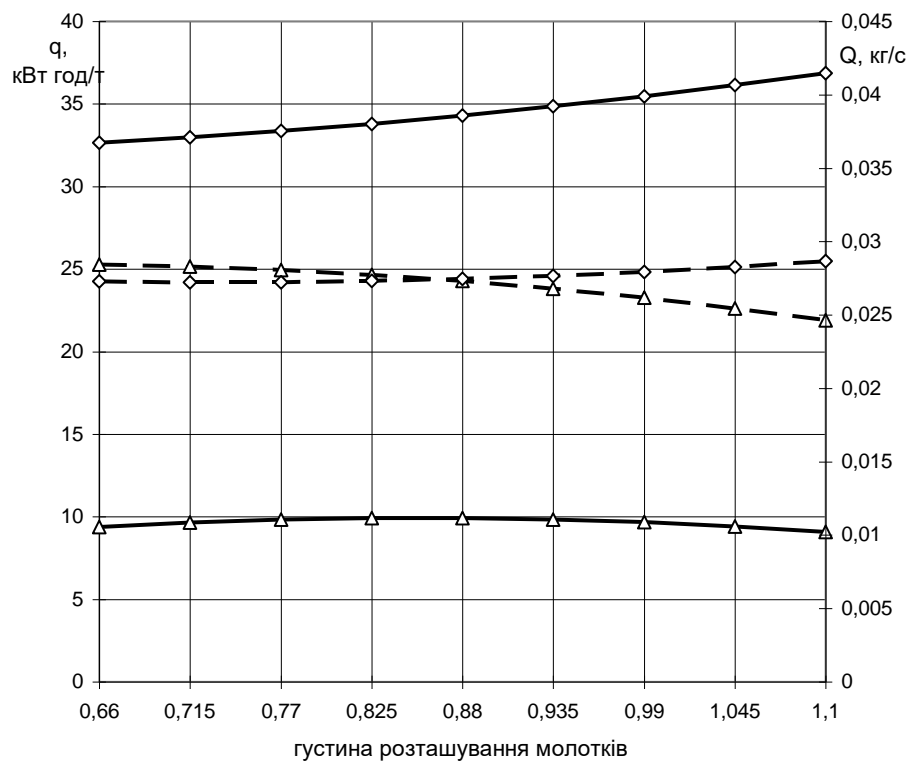
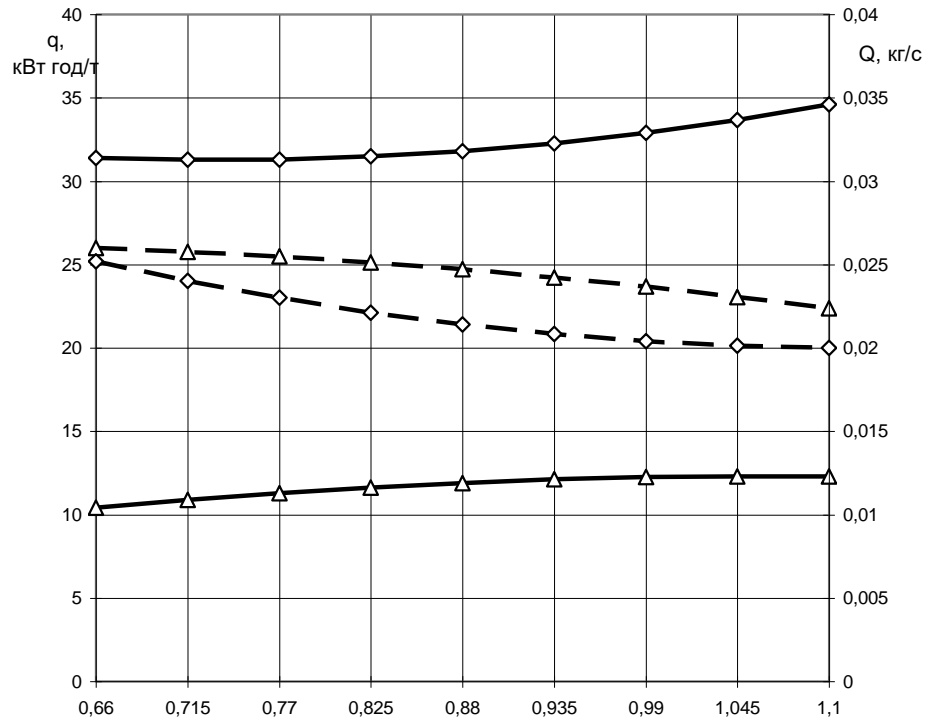


Вплив щільності розміщення молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми на барабані дробарки на якісні показники процесу приготування комбікормів при  $v_m = 65$  м/с,  $\alpha_p = 150^\circ$ ,  $d_o = 6$  мм (—) і  $d_o = 4$  мм (- - -) :

$\Delta$  – модуль помелу;

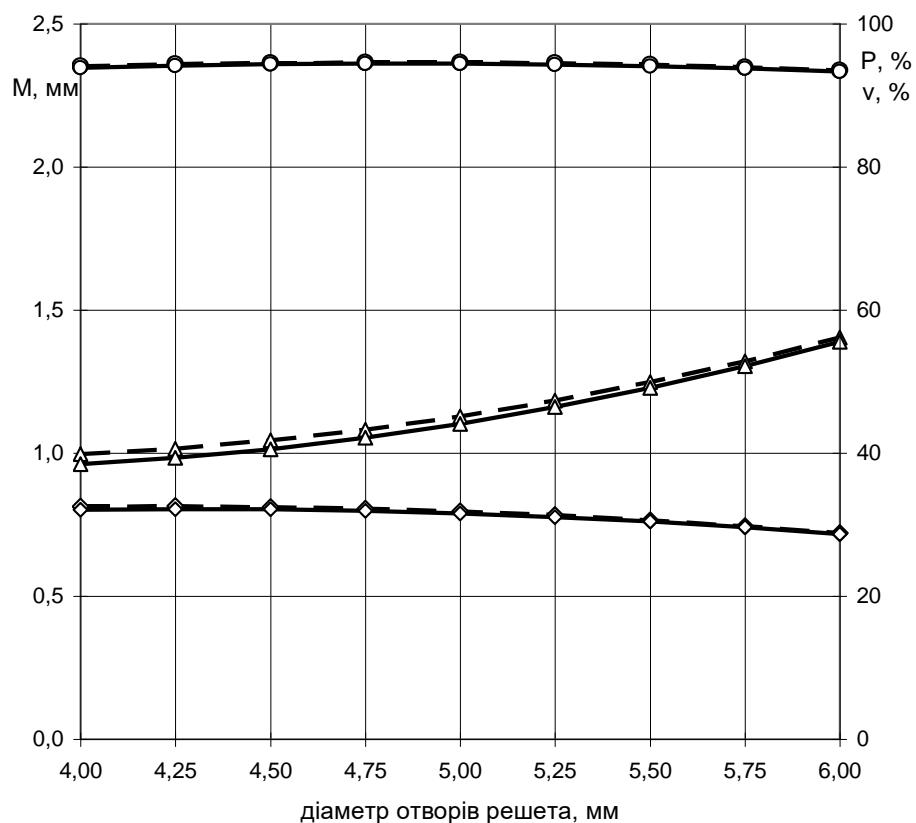
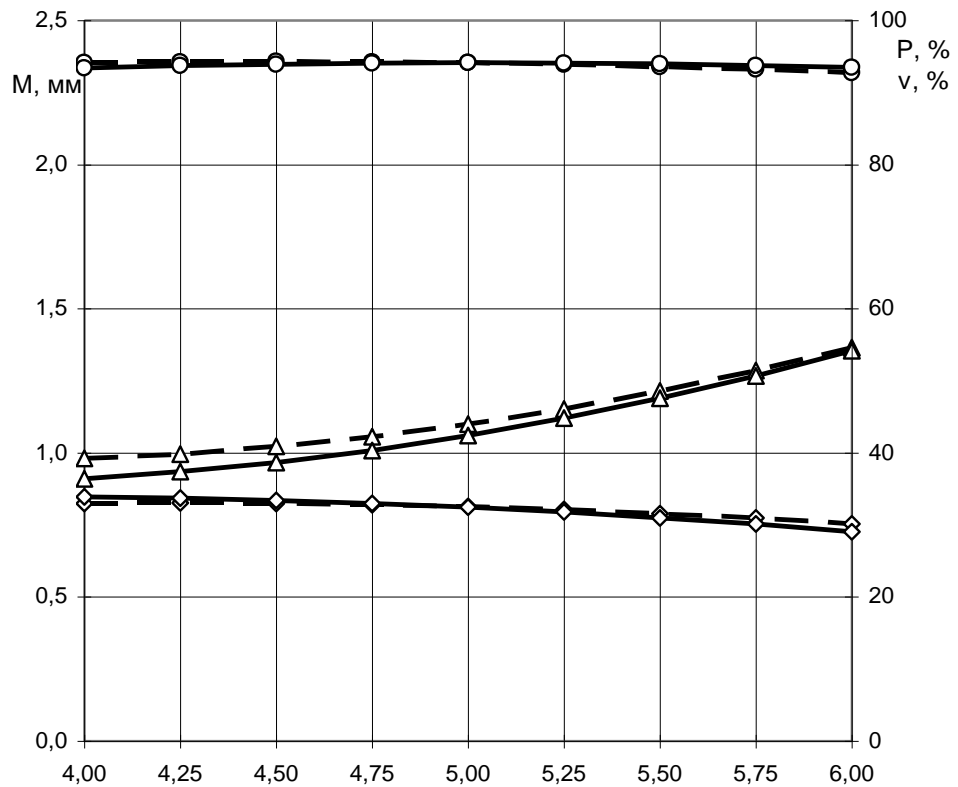
$\diamond$  – коефіцієнт варіації фракційного складу продуктів подрібнення;

$\circ$  – рівномірність змішування компонентів.



**Залежність продуктивності (◇) установки та питомої енергомосткості (Δ) процесу приготування комбікормів від щільності розміщення на барабані молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми при  $v_m = 65$  м/с,  $\alpha_p = 150^\circ$ ,  $d_o = 6$  мм (—) і  $d_o = 4$  мм (- - -)**



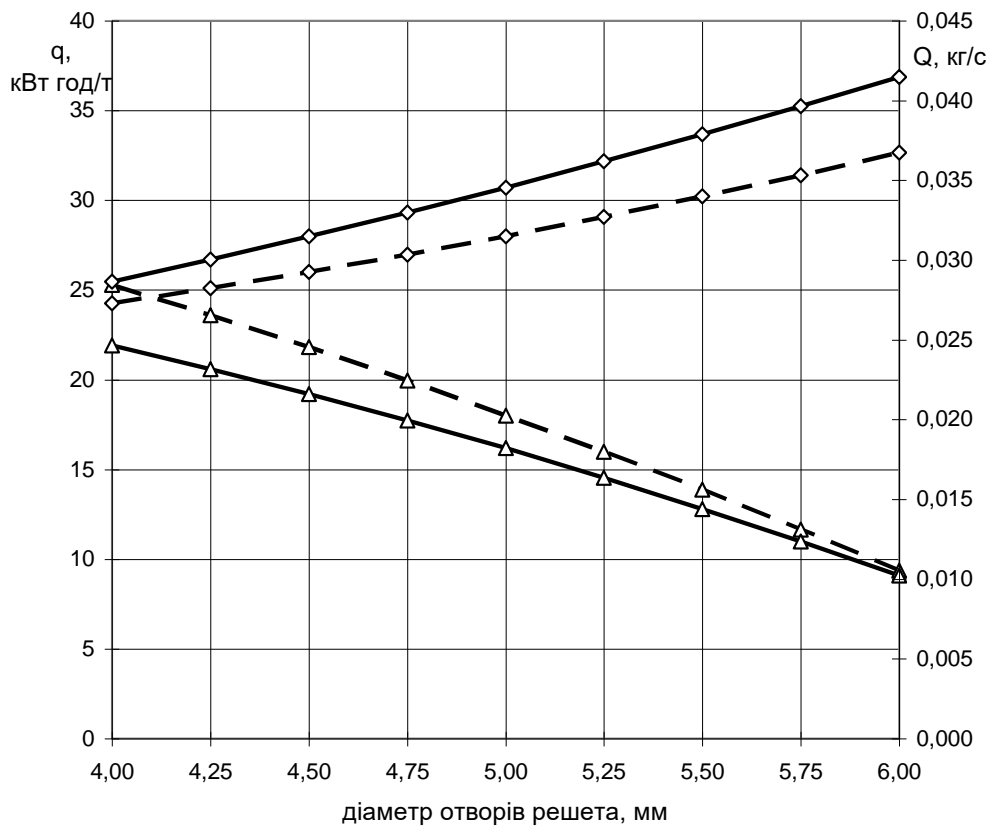
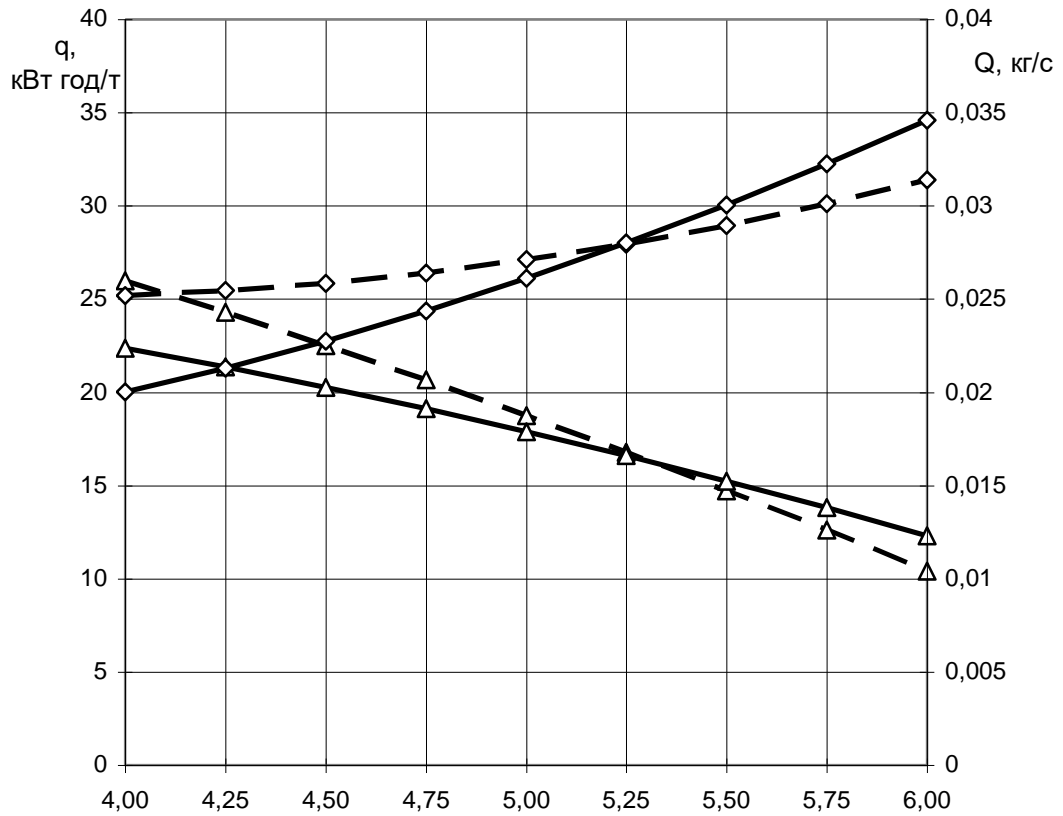


**Вплив діаметра отворів решіт на якісні показники процесу приготування комбікормів при використанні молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми,  $v_m = 65$  м/с,  $\alpha_p = 150^\circ$ ,  $k_r = 0,66$  (- - -) і  $k_r = 1,1$  (—) :**

$\Delta$  – модуль помелу;

$\diamond$  – коефіцієнт варіації фракційного складу продуктів подрібнення;

$\circ$  – рівномірність змішування компонентів.



**Залежність продуктивності (◇) установки та питомої енергомосткості (Δ) процесу приготування комбікормів від розміру отворів решіт при використанні молотків прямокутної (зверху) та шестикутної (знизу) форми,  $v_m = 65$  м/с,  $\alpha_p = 150^\circ$ ,  $k_{Г} = 0,66$  (---) і  $k_{Г} = 1,1$  (—)**