

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ПРОЦЕС ДРОБЛЕННЯ ЗЕРНА

В. В. Сердюк, асистент

В. А. Руденко, к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет

В лабораторії новітніх технологій харчових продуктів проведені дослідження подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем. Вибрані фактори які впливають на роботу подрібнювача, проведено повно факторний експеримент. Отримані дані оброблені методом математичної статистики, отримані рівняння регресії дозволяють отримати математичну модель впливу факторів на витрати енергії при роботі подрібнювача.

Ключові слова: зерно, подрібнення, повно факторний експеримент, рівняння регресії.

Постановка проблеми: Подрібнення зерно підвищує ефективність його використання, тому що дрібні частинки корму повніше та швидше засвоюються тваринами. Зернові продукти займають головне місце в рецептурі комбикормів, а міцна кормова база є основою розвитку тваринництва і птахівництва.

Встановлено, що на подрібнення щорічно витрачається не менше 5% всієї виробленої у світі енергії, включаючи енергію двигунів внутрішнього згорання. Така велика частка в загальному, енергетичному балансі підкреслює місце і важливість використання процесів дроблення в життєдіяльності людини [1], особливо це помітно зараз у зв'язку зі збільшенням вартості електричної енергії.

У технології приготування кормів найпоширенішим і важливим процесом є подрібнення, обумовлене вимогами фізіології тварин. В результаті подрібнення утворюється безліч частинок з високорозвиненою поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення і підвищенню засвоюваності поживних речовин. За рахунок подрібнення зерна продуктивність тварин підвищується на 10...15% [2].

Однією із енергоємних операцій у приготуванні кормів є подрібнення. Витрати енергії у технології кормо виробництва за операціями розподіляються наступним чином: транспортування - 20%, дозування - 15%, на подрібнення припадає близько 65% і складає до 33% собівартості готової продукції [3]. Нами досліджувався процес подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем з метою підвищення ефективності роботи і зниження енергоємності подрібнювального технологічного обладнання шляхом модернізації є важливим завданням його виробників і експлуатаційників, оскільки навіть мінімальне поліпшення цих показників може привести до відчутного економічного ефекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Подрібнення зернових компонентів в існуючих лініях приготування комбикормів проводиться, в багатьох випадках, подрібнювачами ударної дії. Для визначення оптимального співвідношення показників якості кормів та витрат енергії на подрібнення зерна потрібні дослідження, так як

кількість необхідної енергії залежить від багатьох факторів.

Значний вклад в розвиток теорії подрібнення зернових матеріалів внесли С.В. Мельников, І.І. Ревенко, О.М. Пилипенко та ряд інших вчених. Дослідження процесу подрібнення зерна необхідно спрямовувати на удосконалення використання енергії активного удару робочими органами. Тому необхідно проведення досліджень спрямованих на визначення енергоємності процесу подрібнення зерна при впливу на цей процес різних технологічних і конструктивних факторів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Визначити оптимальні конструктивні параметри та режими роботи ударного подрібнювача зерна, здатного забезпечити відповідний модуль помелу при мінімальних витратах енергії.

Мета дослідження. Визначити залежність витрат енергії на подрібнення зерна, та пошук оптимальних і технологічних параметрів та режимів роботи подрібнювача, які здатні забезпечити мінімальні витрати електричної енергії.

Результати дослідження. Дослідження проводилися у між факультетській лабораторії новітніх технологій в галузі харчових продуктів, спрямовані на визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів подрібнювача.

Вклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводилися на експериментальній установці у між факультетській лабораторії новітніх технологій в галузі харчових продуктів. Виконаний апріорний аналіз літературних джерел з роботи ударно-сепараційних подрібнювачів [2,3,5,6] дозволив встановити конструктивні і технологічні фактори які суттєво впливають як на процес подрібнення зерна, так і на витрати енергії. Для подальших дослідів, як вже було зазначено [4], нами прийняті наступні фактори: X_1 – кут нахилу відбивних пластин статора; X_2 – лінійна швидкість (частота обертів) ротора; X_3 – подача зерна; X_4 – зазор між ротором та статором. Були враховані всі вимоги які висуваються до факторів, що приймають участь у експериментах, а саме: бути незалежними

змінними та вимірюватися наявними засобами з достатньою точністю; є керованими і одностайними; вони сумісні один з одним; а також не пов'язані між собою лінійними кореляційними зв'язками і оцінюються кількісно.

При виборі області визначення факторів звертали спеціальну увагу на вибір нульової точки (основного рівня фактору). На основі

априорної інформації були обрані наступні основні рівні факторів і інтервали їх варіювання: $X_1 - 135 \pm 15^\circ$; $X_2 - 50 \pm 15 \text{ м/с}$; $X_3 - 80 \pm 20 \text{ кг/год}$; $X_4 - 6 \pm 3 \text{ мм}$. Інтервал варіювання факторів обирався з урахуванням того, що значення факторів повинні достатньо відрізнятися від значення, відповідного нульовому рівні.

Таблиця — Матриця і результати експериментальних досліджень.

№ п/п	Матриця								Витрати потужності, $W_p - W_x$, кВт	Питома площа поверхні, $\Delta S \text{ м}^2/\text{кг}$	Питома витрати енергії, кДж/м^2	Енергоємність процесу подрібнення, кВт·год/т	Питома витрати енергії при подрібненні, кВт·год/т
	Планування				Робоча								
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1 – кут нахилу пластин статора, град	X_2 – лінійна швидкість ротора, м/с	X_3 – подача зерна, кг/год	X_4 – зазор між статором і ротором, мм.					
1.	–	–	–	–	120	35	60	3	0,115	2,035	3,39	0,721	1,917
2.	+	–	–	–	150	35	60	3	0,260	2,902	5,38	1,289	5,200
3.	–	+	–	–	120	65	60	3	0,325	5,582	3,49	0,977	5,417
4.	+	+	–	–	150	65	60	3	0,595	9,029	3,95	1,187	9,917
5.	–	–	+	–	120	35	100	3	0,215	1,806	4,29	0,870	2,150
6.	+	–	+	–	150	35	100	3	0,335	2,984	4,04	0,977	3,350
7.	–	+	+	–	120	65	100	3	0,405	4,229	3,45	0,911	4,050
8.	+	+	+	–	150	65	100	3	0,630	8,025	2,83	0,836	6,300
9.	–	–	–	+	120	35	60	9	0,100	1,713	3,50	0,696	1,667
10.	+	–	–	+	150	35	60	9	0,270	3,228	5,20	1,240	4,500
11.	–	+	–	+	120	65	60	9	0,220	4,580	2,88	0,775	3,667
12.	+	+	–	+	150	65	60	9	0,440	8,201	3,22	0,955	7,333
13.	–	–	+	+	120	35	100	9	0,150	1,801	3,00	0,608	1,500
14.	+	–	+	+	150	35	100	9	0,255	2,303	3,99	0,887	2,550
15.	–	+	+	+	120	65	100	9	0,355	4,202	3,04	0,803	3,550
16.	+	+	+	+	150	65	100	9	0,565	6,475	3,14	0,901	5,650

На першому етапі дослідів нами враховувалося, що невідома функція відгуку апроксимується поліномом тій чи іншій мірі, а конкретно, розглядається лінійна модель, побудова якої є першим етапом роботи дослідів для знаходження інтерполяційної моделі. При побудові лінійної моделі знаходять чисельні значення вільного члена і лінійних коефіцієнтів рівняння регресії. Побудова лінійної моделі пов'язана з проведенням повного факторного експерименту в якому реалізуються всі можливі комбінації розглянутих рівнів факторів. Фактори тут варіюють на двох рівнях, один рівень + 1, а другий – 1. В матриці планування при варіюванні факторів на двох рівнях вказують тільки знаки (+ або –).

Для проведення експериментальних досліджень і визначення впливу факторів на вихідні параметри складалася матриця планування експерименту, яка являє собою стандартну таблицю, де вказують умови проведення всіх дослідів, які створюють обраний план. В матриці повного факторного експерименту рядки відповідають різним дослідом, а стовбці окремим факторам і їх взаємодіям. Складаючи матрицю планування експерименту, застосовували кодовані значення

факторів і вказували в неї тільки знаки (+ або –). При кодуванні факторів здійснювали перетворення координат факторного простору з перенесенням початку координат в нульову точку і вибором масштабів по осях в одиницях інтервалів варіювання факторів. З урахуванням цієї матриці побудували робочу матрицю, яку використовували при проведенні експерименту.

Аналітична обробка матеріалів експериментального дослідження проводилася для отримання математичної залежності вихідних параметрів від факторів, які брали участь в досліді [7,8,9]. Обробка результатів експерименту проводилася в наступній послідовності. За результатами паралельних спостережень визначалось середнє арифметичне значення результатів дослідів і дисперсія, яка характеризує варіацію повторних дослідів. При проведенні паралельних дослідів для визначення помилкових дослідів використовувався критерій Стюдента і якщо експериментальне значення критерію по модулю було більше табличного, то дослід вважався не дійсним.

Перехід від помилок дослідів до помилки експерименту пов'язаний з усередненням дисперсії помилок, а це можливо тільки у випадку

однорідності всіх дисперсій. Тобто серед усіх підсумованих дисперсій нема таких, які б значно перевищували усі останні. Однорідність дисперсій перевірялась за допомогою критерію Кохрена, який дорівнює відношенню максимальної дисперсії до суми усіх дисперсій. Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджувалась, якщо експериментальне значення критерію Кохрена не перевищувала табличного значення. Однорідність дисперсій дослідів дозволяє переходити до оцінки дисперсії експерименту - дисперсії відтворюваності, яка характеризує помилку всього експерименту і котра необхідна для регресійного аналізу.

Визначення питомої витрати енергії на одиницю маси, Дж/кг :

$$A_m = \frac{W_p - W_x}{Q}, \quad (1)$$

де A_m - питома витрата енергії на одиницю маси;

W_p – потужність на валу ротора дробарки при подрібненні зерна ;

W_x – потужність холостого ходу дробарки;

Q - маса подрібненого зерна за час дослідів.

Проведення експерименту здійснювалося за наступною методикою. Статори подрібнювача при дослідях були змінні і вони виготовлені з кутом нахилу відбивних пластин у 120 і 150 градусів. В залежності від умов дослідів встановлювалася та чи інша конструкція статора. За допомогою електронного частотоміра здійснювався контроль за кутовою швидкістю обертання ротора. Перед подрібненням зерна, при використанні електронних терезів, зробили контрольне зважування зерна в кількості 500 грамів яке використовувалося для проведення дослідів. Встановлення зазору між статором та ротором здійснювалося заміною статорів, які забезпечують передбачений у даному досліді зазор між робочими органами подрібнювача. В експериментальних дослідженнях використану потужність електричного двигуна контролювали за допомогою приладів амперметра та вольтметра.

За методом найменших квадратів визначались значення коефіцієнтів регресії. Обробка результатів дослідження проводилася для отримання математичної залежності вихідного параметра від факторів які брали участь в дослідях.

$$A_m = 4,295 + 1,305 X_1 + 1,441 X_2 - 0,657 X_3 - 0,493 X_4 + 0,259 X_1 X_2 - 0,48 X_1 X_3 - 0,191 X_2 X_3 - 0,193 X_2 X_4 + 0,23 X_2 X_3 X_4. \quad (2)$$

Аналіз цього рівняння показує, що збільшення кута нахилу відбивних пластин статора і лінійної швидкості (частоти обертів) ротора приводить до збільшення питомих витрат

енергії на одиницю маси подрібнювального зерна. Збільшення подачі зерна й зазору між ротором та статором навпаки приводить до зменшення цих витрат.

Одним із важливих показників, що характеризують процес подрібнення буде прирощення питомої площі поверхні зерна:

$$\Delta S = S_k - S_n, \quad (3)$$

де ΔS – прирощення питомої площі поверхні зерна;

S_k – площа поверхні часток кінцевого продукту;

S_n – початкова площа поверхні зерна.

Вони визначаються наступними залежностями:

$$S_n = \frac{6}{\rho D} \quad (4)$$

де S_n – початкова площа поверхні зерна;

ρ – щільність зерна;

D – середній розмір часток.

$$S_k = S_n \cdot I \quad (5)$$

де S_k – площа поверхні часток кінцевого продукту;

S_n – початкова площа поверхні зерна;

I – ступінь подрібнення зерна.

$$\Delta S = 4,318 + 1,075 X_1 + 1,972 X_2 - 0,34 X_3 - 0,256 X_4 + 0,567 X_1 X_2 - 0,217 X_2 X_3 - 0,17 X_2 X_4 - 0,189 X_1 X_3 X_4 \quad (6)$$

Рівняння показує, що збільшення кута нахилу відбивних пластин статора і лінійної швидкості (частота обертів) ротора також приводить до збільшення прирощення питомої площі поверхні зерна, а збільшення подачі зерна і зазору між ротором та статором навпаки до зменшення прирощення.

Поряд з визначенням питомої витрати енергії на подрібнення одиниці зерна, становить інтерес і значення питомої витрати енергії на утворення одиниці нової поверхні при подрібненні зерна. У цьому випадку беруть до уваги результативність процесу якості дроблення. Тому для визначення витрат на процес дроблення розраховують витрату корисної енергії на утворення одиниці нової поверхні за формулою:

$$A = \frac{W_p - W_x}{Q \cdot \Delta S}, \quad (7)$$

де A – питома витрати енергії;

W_p – потужність на валу ротора дробарки при подрібненні зерна ;

W_x – витрати енергії при холостому ході подрібнювача;

ΔS – прирощення питомої площі поверхні зерна;

Q – продуктивність подрібнювача.

$$A = 3,663 + 0,283 X_1 - 0,413 X_2 - 0,19 X_3 - 0,189 X_4 - 0,248 X_1 X_2 - 0,256 X_1 X_3. \quad (8)$$

$$+ 0,159 X_1 X_3 X_4 + 0,146 X_2 X_3 X_4$$

Рівняння свідчить що тільки збільшення кута нахилу відбивних пластин статора приводить до збільшення питомої витрати енергії, а всі інші фактори при збільшенні кута знижують витрати енергії.

Визначена енергоємність процесу подрібнення зерна з урахуванням ступеня подрібнення:

$$A_c = \frac{W_p - W_x}{Q \cdot I}, \quad (9)$$

де A_c – енергоємність процесу подрібнення з урахуванням ступеню подрібнення;

W_p – потужність на валу ротора дробарки при подрібненні зерна;

W_x – витрати енергії при холостому ході дробарки;

I – ступінь подрібнення;

Q – продуктивність подрібнювача.

$$A_c = 0,915 + 0,119 X_1 - 0,065 X_3 - 0,056 X_4 - 0,068 X_1 X_2 - 0,068 X_1 X_3 + 0,025 X_1 X_3 X_4 + 0,042 X_2 X_3 X_4 \quad (10)$$

Отриманий вираз показує такий же вплив факторів на параметри, як і на витрату корисної енергії при утворенні одиниці нової поверхні.

Висновки. Аналіз результатів проведеного дослідження показує, що всі обрані фактори, які приймали участь в експерименту, впливають на питомі витрати енергії на одиницю маси подрібнювального зерна, прирощення питомої площі поверхні кінцевого продукту, витрату корисної енергії на утворення одиниці нової поверхні і

енергоємність процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення. Але як і попередні дослідження [4], ці рівняння вказують на нелінійний характер залежності функцій від досліджуваних факторів. У зв'язку з цим ми переходимо до планування і проведення експерименту, який пов'язаний з побудовою моделей вигляду поліномів другого ступеня і варіюванням факторів на трьох рівнях.

Список використаної літератури:

1. Клушанцев Б.В., Косарев Ю.А., Муйземнек, Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
2. Хохрин, С.Н. Корма и кормление животных [Текст] / С.Н. Хохрин. - М.: Лань, 2002. - 512 с.
3. Ревенко І.І. та ін. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. К.: Урожай, 1999. – 191 с.
4. Сердюк В.В., Руденко В.А. Дослідження процесу подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем. Вісник СНАУ , випуск 10(25), 2013. с.117-121.
5. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. – 448 с.
7. Адлер Ю.П. Планирование экспериментов при поиске оптимальных решений. / Ю.П.Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1986. – 215 с
8. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
9. Лавров В.В., Спирин Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.
10. Вараксин, А.В. Исследование процесса измельчения концентрированных кормов [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Вараксин. - Благовещенск, 2005. - 24 с.

Сердюк В.В., Руденко В.А. Определение затрат энергии на процесс дробления зерна

В лаборатории новых технологий пищевых продуктов проведены исследования измельчения зерна ударно-сепарационным измельчителем. Выбраны факторы, влияющие на работу измельчителя, проведен полно факторный эксперимент. Полученные данные обработанные методами математической статистики, полученные уравнения регрессии позволяют получить математическую модель влияния факторов на затраты энергии при работе измельчителя.

Ключевые слова: зерно, измельчение, полно факторный эксперимент, уравнение регрессии.

Serdyuk V.V., Rydenko V.A. Determination of energy consumption for crushing process of grain

In the laboratory, new technologies foods studied grain refinement and separation shock shredder. Selected factors affecting the operation of the chopper, held full factorial experiment. The data processed by the methods of mathematical statistics, regression equations obtained allow to obtain a mathematical model of the influence of factors on energy costs when operating the shredder.

Keywords: grain, grinding, full factorial experiment, the regression equation.

Стаття надійшла в редакцію: 12.04.2015р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кочмола М.М.

