

Сердюк Василь Васильович

аспірант

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-7319-2451

email 0978545199@ukr.net

Руденко Віктор Аркадієвич

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-7319-2451

email rudvik1942@ukr.net

Зубко Владислав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0002-2426-2772

email zubkovladislav@ukr.net

В статті розглядаються і аналізуються результати експериментальних досліджень подрібнення зерна ударно-сепарційного подрібнювача при зміні конструктивних і технологічних параметрів його роботи. Досліджувалися витрати енергії та ступінь подрібнення зерна при роботі подрібнювача, був реалізований повно факторний експеримент, який потім доповнювався "зірковими" та "нульовими" точками до ротатабельного плану. Проведений аналіз впливу факторів на досліджувані параметри.

Ключові слова: витрата енергії, подрібнення, зерно, модуль помелу, планування експерименту, ротатабельний план.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.4.6>

Постановка проблеми: Подрібнення зерна при приготуванні кормів є важливим процесом, який необхідний за вимогами фізіології тварин, оскільки утворюються частинки з великою загальною поверхнею, а це сприяє процесу травлення і кращому засвоєнню поживних речовин. При цьому продуктивність птахівництва і тваринництва підвищується на 10 ...15% [1]. Подрібнене зерно складає основу в рецептурі комбікормів, але витрати енергії на подрібнення складають до 5% виробленої у світі енергії [2], а у технології кормо виробництва на подрібнення припадає близько 65% і енергетичні витрати в балансі собівартості готової продукції складають до 33% [3]. Тому досліджувався процес роботи ударно-сепарційного подрібнювача з метою підвищення ефективності його роботи і зниження енерговитрат технологічного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вклад в розвиток теорії і роботи подрібнювачів зернових матеріалів внесли І.І. Ревенко, О.М. Пилипенко, Г.М. Кукта, С.В. Мельников та ряд інших вчених. На сучасних лініях приготування комбікормів подрібнення зерна проводиться, в основному, подрібнювачами ударної дії. Витрати енергії на подрібнення зерна залежать від багатьох змінних величин, основними з яких являються фізико-механічні властивості подрібнювального матеріалу, а також конструктивні параметри подрібнювачів і технологічні параметри їх роботи. Дослідження використання енергії активного удару в процесі подрібнення зерна, який залежить від багатьох факторів і в значній мірі впливаючи на енергоємність приготування кормів, становить актуальну задачу.

Досліди проводилися у між факультетській лабораторії новітніх технологій в галузі харчових продуктів. Для цього була розроблена і виготовлена експериментальна

установка. Попередньо виконаний апріорний аналіз матеріалів дослідів роботи ударно-сепарційних подрібнювачів [1,2,3,4] дав змогу визначити технологічні і конструктивні фактори, що найбільше впливають як на витрати енергії, так і на ступінь подрібнення зерна. Такими факторами прийнятими для подальших дослідів виявилися, як вже було зазначено [5, 6]: 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.

До факторів, що беруть участь в експерименті висуваються певні вимоги, а саме: вони повинні бути незалежними змінними та з достатньою точністю вимірюватися наявними засобами; є однозначними і керованими; бути сумісними один з одним; оцінюватися кількісно і не пов'язуватися між собою лінійними кореляційними зв'язками. Всі прийняті фактори відповідають цим вимогам. Особливу увагу, при виборі основного рівня фактору (нульової точки), звертали на призначення області визначення факторів. При обранні інтервалів варіювання факторів урахувували те, що інтервал варіювання повинен достатньо відрізнятись від значення, відповідного основному рівню фактору. Таким чином, основні рівні факторів і інтервали їх варіювання становили: кут нахилу відбивних пластин статора $X_1 - 135 \pm 15^\circ$; лінійна швидкість (частота обертів) ротора $X_2 - 50 \pm 15 \text{ м/с}$; подача зерна $X_3 - 80 \pm 20 \text{ кг/год}$; зазор між ротором та статором $X_4 - 6 \pm 3 \text{ мм}$.

На першій стадії дослідів перевірялася гіпотеза, що невідомі нам функції відгуку описуються поліномом тієї чи іншої міри. Визначення, точність і надійність оцінок регресії залежать від властивостей застосовуваного плану експерименту. Вибір плану пов'язаний з визначенням числа експери-

ментальних точок і такого їх розташування в факторному просторі, яке дозволяє при мінімальній кількості дослідів отримати необхідну інформацію для прийняття рішення. Попередньо розглядалася лінійна модель, яка була першим етапом роботи. Модель складається із вільного члена і лінійних коефіцієнтів рівняння регресії, а це і потребує реалізації повно факторного експерименту, в якому фактори варіюють на двох рівнях. Для цього складалася таблиця, матриця планування, де вказуються умови проведення всіх дослідів, що утворюють обраний план [5, 6].

Досліди проводилися на розробленій і виготовленій в лабораторії експериментальній установці. Статори подрібнювача виготовлялися з кутом нахилу відбивних пластин у 120 і 150 градусів і були змінні в залежності від умов дослідів. Куту швидкість обертання ротора подрібнювача виміряли і контролювали за допомогою електронного частотоміра. Контрольне зважування зерна, яке використовували для проведення дослідів, в кількості 500 грамів, робили перед подрібненням зерна. Зміну зазору між статором та ротором виконували заміною статора, таким чином щоб забезпечити необхідні у даному досліді умови. Використану потужність електричного двигуна, в експериментальних дослідженнях, контролювали вимірюючи силу струму і напругу спожиту двигуном, електронними приладами. Подрібнене зерно отримане в результаті кожного дослідів, перемішували до однорідної суміші, та пересівали через набір сит на лабораторному класифікаторі. Потім визначали вагу кожної фракції і середній модуль помелу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Визначити вплив конструктивних параметрів подрібнювача енергоощадні режими його роботи, ступінь подрібнення зерна, оптимальні конструктивні параметри та режими роботи ударного подрібнювача зерна, здатного забезпечити відповідний модуль помелу.

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

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналітична обробка матеріалів експериментального дослідження проводилась для отримання математичної залежності вихідних параметрів від факторів, які брали участь в досліді [7, 8, 9]. Обробка результатів експерименту проводилась 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 се-

ред усіх підсумованих дисперсій нема таких, які б значно перевищували усі останні. Однорідність дисперсій перевірялася за допомогою критерію Кохрена, який дорівнює відношенню максимальної дисперсії до суми усіх дисперсій. Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджувалася, як що 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.

Проведений повно факторний експеримент показав, що залежність потужності енергії при подрібненні зерна (робочий хід), має наступний вигляд

$$W_p = 1,49 + 0,07X_1 + 0,69X_2 + 0,04X_3 - 0,02X_4 + 0,02X_1X_4 + 0,016X_1X_2X_4 + 0,026X_2X_3X_4$$

Рівняння показує, що всі обрані фактори впливають на витрати енергії, але лінійною моделлю описати з необхідною точністю дослідження не уявляється можливим, так як коефіцієнти регресії при ефектах парної і потрійної взаємодії значущі і необхідно продовжувати дослідів з ціллю отримання математичної моделі другого порядку. Такі ж результати отримані і при обробці матеріалів по подрібненню зерна.

Для продовження дослідів був складений і реалізований ротатабельний план в якому повно факторний експеримент становив "ядро" плану до якого додавалися "зіркові" і "нульові" точки [2,3].

Обробка результатів експерименту дозволила отримати рівняння регресії, яке є моделлю об'єкта дослідження і описує витрати енергії.

$$W_p = 1,309 + 0,0642X_1 + 0,628X_2 + 0,0359X_3 - 0,0334X_4 + 0,0959X_2^2 + 0,0204X_3^2 + 0,0179X_4^2$$

Знаки перед коефіцієнтами регресії вказують напрямок руху по кожному з відповідних чинників в бік збільшення параметра виходу. Абсолютне значення коефіцієнтів дає зміна параметра виходу при зміні фактору на величину інтервалу варіювання з урахуванням знаку. Збільшення кута нахилу відбивних пластин статора, лінійної швидкості (частоти обертів) ротора і подачі зерна, в межах варіювання факторів, приводить до збільшення витрат енергії, а зазор між ротором та статором навпаки.

Для аналізу впливу окремих факторів на витрати енергії будуємо умовно одномірні залежності, стабілізуючи значення інших факторів на певному рівні.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що найбільший вплив на витрати енергії при подрібненні зерна здійснює куту швидкість (частота обертів) ротора, збільшення якої приводить до стрімкого зростання використаної потужності. Збільшення кута нахилу відбивних пластин статора і подачі зерна в подрібнювач приводять також до зростання використаної потужності, а збільшення зазору між ротором та статором навпаки приводить до зниження використаної потужності.

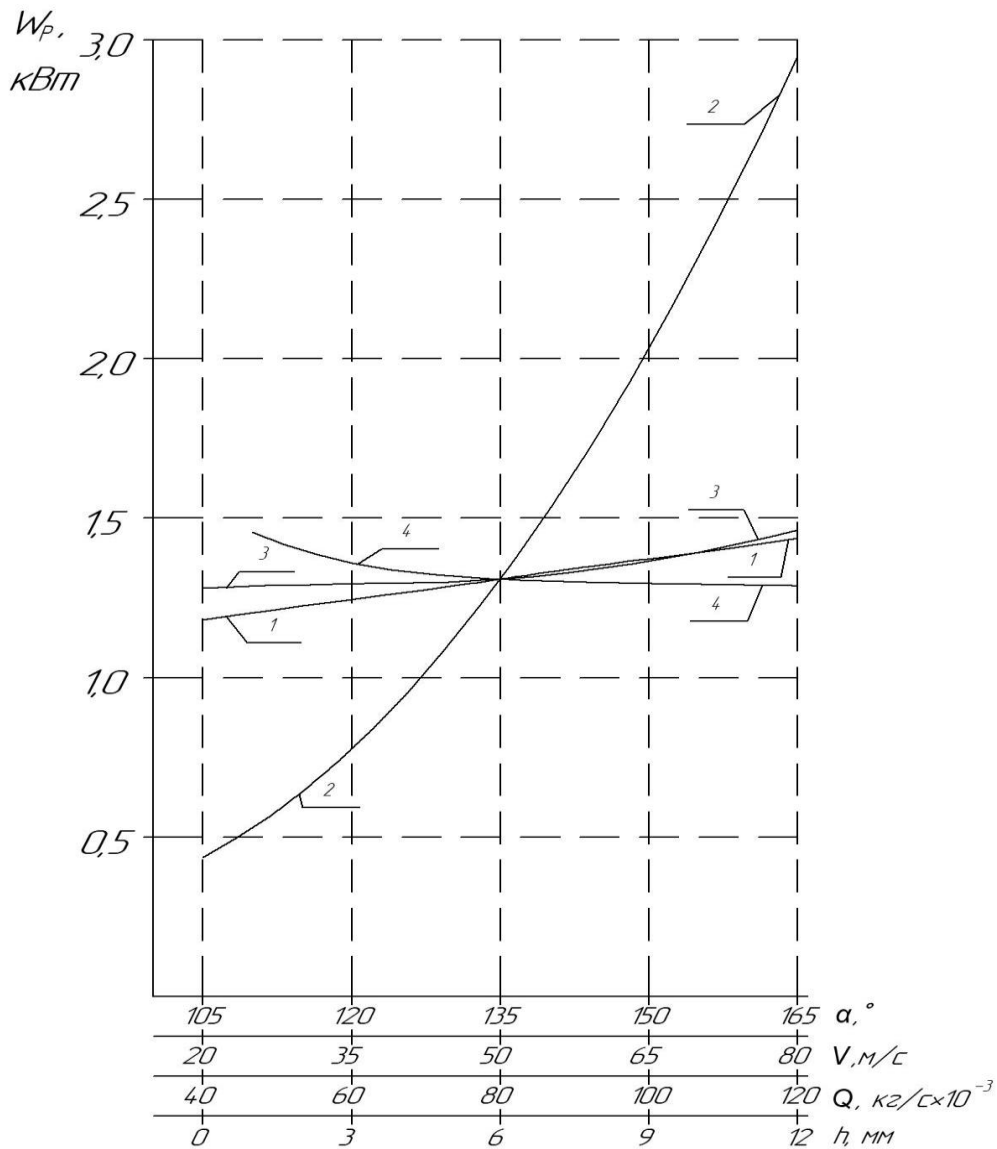


Рис. 1. Залежність енерговитрат при подрібненні зерна від:
 1 - кута нахилу відбивних пластин статора; 2 - лінійної швидкості (частоти обертів) ротора;
 3 - подачі зерна; 4 - зазору між ротором та статором.

Ступінь подрібнення зерна описується наступним рівнянням

$$I = 4,31 + 0,77X_1 + 1,545X_2 - 0,23X_3 - 0,345X_4 - 0,114X_1^2 + 0,132X_2^2 + 0,134X_4^2 + 0,46X_1X_2 - 0,177X_2X_3 - 0,139X_2X_4$$

Також будемо умовно одномірні залежності ступеня подрібнення зерна від досліджуваних факторів.

Найбільший вплив на ступінь подрібнення зерна здійснюють лінійна швидкість ротора та кути нахилу відбивних пластин статора. При зростанні цих параметрів ступінь подрібнення зерна збільшується, а зростання подачі зерна й зазору між ротором та статором приводять до зниження ступеня подрібнення.

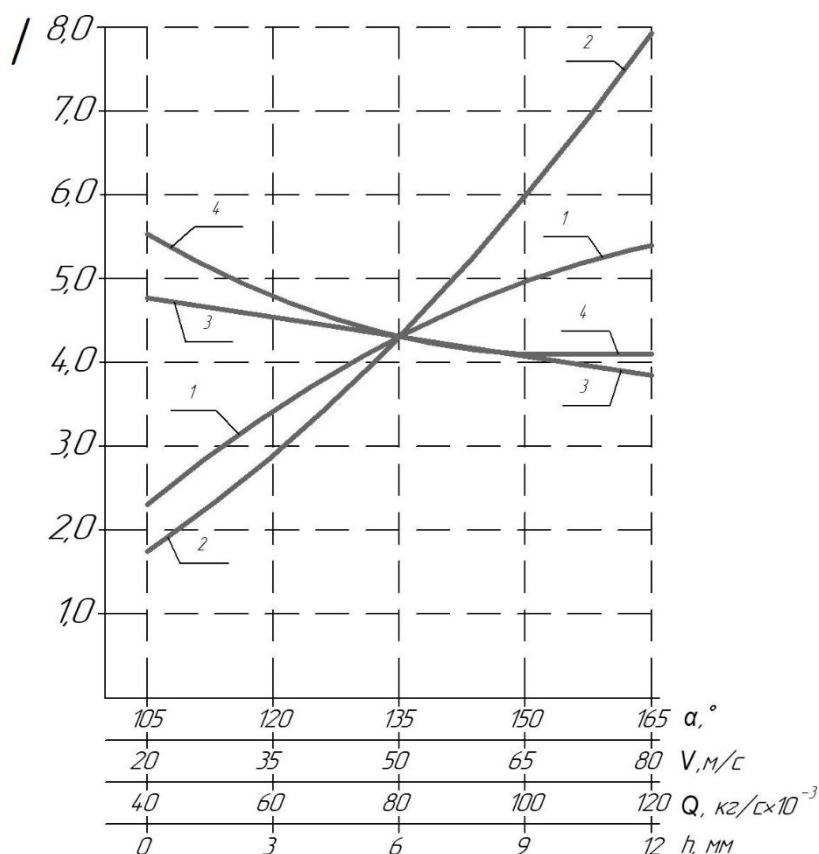


Рис.1. Залежність ступеня подрібнення зерна від: 1 - кута нахилу відбивних пластин статора; 2 - лінійної швидкості (частоти обертів) ротора; 3 - подачі зерна; 4 - зазору між ротором та статором.

Висновки Аналізуючи залежності витрат енергії і ступеня подрібнення зерна можна зробити висновки, що досяг-

нути необхідного модуля помелу зерна можна варіацією досліджуваних факторів і при цьому вибрати найбільш енергоощадний режим роботи.

Список використаної літератури:

1. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
2. Клушанцев Б.В., Косарев Ю.А., Муйземнек, Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
3. Ревенко І.І. та ін. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. К.: Урожай, 1999. – 191 с.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. – 448 с.
5. Сердюк В.В. Визначення витрат енергії на процес дроблення зерна./ Сердюк В.В., Руденко В.А. - Суми: Вісник СНАУ, Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2015. - випуск 11 (27) - с.53-56.
6. Сердюк В.В. Дослідження процесу дроблення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем /В.В Сердюк, В.А. Руденко. – Суми: Вісник СНАУ, Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2017. - випуск 10 (32) - С. 98-101.
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., Спиринов Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.
10. Лавров В.В., Спиринов Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.

Serdyuk V.V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Rydenko V.A., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Zubko V.M., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Energy consumption when working the shock-separator measurer

The energy costs and the process of grain grinding during the operation of the shock-crusher are investigated in order to increase its efficiency and reduce energy consumption. The technological and design factors that most influence both energy consumption and the degree of grain grinding are identified. The experiments were conducted on a pilot plant designed and manufactured in the laboratory. Technological and design factors most influencing the research parameters and accepted for further experiments: the angle of inclination of the reflector plates of the stator; linear speed (speed) of the rotor; grain supply; clearance between rotor and stator. The accepted factors meet certain requirements: they are independent variables and are measured with sufficient accuracy by available means; are unambiguous and manageable; compatible with each other; are quantified and are not correlated with linear correlation relationships. The experiments were conducted on a pilot plant designed and manufactured in the laboratory. A fully factorial experiment showed that it is not possible to describe a linear energy flow model and the degree of grain grinding with the required accuracy. Therefore, the experiments were continued and "star" and "zero" points were added to the full factorial design of the experiment, which transformed the planning matrix into a second order rotatable plan. The results of studies show that the angular velocity of the rotor, the increase of which leads to a rapid increase in the used power, has the greatest influence on the energy consumption during the operation of the shredder. The degree of grinding of the grain is most influenced by the angular velocity of the rotor and the angles of inclination of the reflector plates of the stator. To analyze the influence of individual factors on energy consumption and the degree of grain grinding, we construct conditionally one-dimensional dependencies, stabilizing the value of other factors at a certain level. By changing the studied factors, it is possible to select the most energy-saving mode of operation of the shredder with the desired specified grain grinding module.

Keywords: energy consumption, grinding, grain, grinding module, experiment planning, rotatable plan

Дата надходження до редакції: 04.11.2019