

РУЙНУВАННЯ ЗЕРНА РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ПОДРІБНЮВАЧА УДАРНОЇ ДІЇ

Сердюк Василь Васильович

аспірант

Сумський національний аграрний університет
0978545199@ukr.net

Плавинський Володимир Іванович

ст. викладач

Сумський національний аграрний університет
ORSID: 0000-0002-0014-2119

Плавинська Олександра Володимирівна

ст. викладач

Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-2837-2087
e-mail: bobrica-k@ukr.net

В статті розглядається інтенсивність руйнування зерна з точки зору оптимізації процесу, аналізу результатів експериментальних досліджень по подрібненню зерна подрібнювачем ударної дії з урахуванням оптимальних конструктивних параметрів. Досліджувалися взаємодія зернини з ударними елементами ротора та відбивними пластинами статора, проведено аналітичні розрахунки конструктивних елементів, що безпосередньо впливають на інтенсивність руйнування зерна.

Ключові слова: інтенсивність руйнування, подрібнення, зерно, ступінь подрібнення, відбивна пластина, ударний елемент.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.2.5>

Постановка проблеми: У технології приготування кормів одним із основних є процес подрібнення, що зумовлене зоотехнічними вимогам. Подрібнення матеріалу відбувається за рахунок послідовної механічної взаємодії його з активними (ротором) і пасивними (статором) робочими органами. При ударних навантаженнях на зерно, в ньому на початковій стадії руйнування з'являються субмікроскопічні тріщини з розбіжностями двох сусідніх атомних шарів в напрямку, де сили міжатомного тяжіння стають дуже малими. В подальшому пошкодження зерна набуває значно більших розмірів за розміри структурних зв'язків зерна, що в кінці призводить до утворення мікротріщини[1,2]. Руйнування зерна на дрібні частинки відбувається за рахунок енергії, яка і виконує роботу по подрібненню. В результаті подрібнення утворюється велика кількість частинок з "високо розвиненою" поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення та засвоєння поживних речовин тваринами[3]. Подрібнювачі ударної дії є "контактними" за своєю конструкцією, що забезпечує високу ступінь подрібнення та зниження енерговитрат.

Встановлення відбивних пластин під різним кутом дозволяє змінити ступінь подрібнення внаслідок багаторазової ударної дії на зерно в подрібнювальній камері, а саме між ударними елементами ротора та статором. Тому за мету наших досліджень було прийнято визначити вплив деяких параметрів подрібнювача, а саме - положення відбивних пластин на підвищення його ефективності роботи.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Визначити оптимальні значення конструктивних параметрів подрібнювача що суттєво впливають на інтенсивність руйнування зерна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подрібнення зерна на існуючих лініях приготування кормових сумішей

проводиться в багатьох випадках подрібнювачами ударної дії. Для визначення оптимального співвідношення показників якості кормів та витрат енергії на подрібнення зерна необхідні подальші дослідження, так як енергетичні витрати залежать від багатьох факторів. Аналіз аналітичних досліджень приводить до висновку, що молоткові подрібнювачі мають ряд недоліків, а саме - велика металоємність та енергоємність, нерівномірний гранулометричний склад подрібнювального матеріалу, швидке зношування робочих органів та ін. В молоткових дробарках під прямий центральний удар потрапляє лише 5% зерна від загальної кількості подрібнювального матеріалу [4]. Використання енергії на подрібнення зерна є складною функцією деяких змінних величин, а саме фізико-механічних властивостей подрібнювального матеріалу, технологічних, конструктивних та геометричних параметрів робочих органів. Значний вклад в розвиток теорії подрібнення зернових матеріалів внесли В.П. Горячкін, В.І. Сироватка, С.В. Мельников, І.І. Ревенко, О.М. Пилипенко та інші вчені. Вважаємо за доцільне спрямувати дослідження процесу подрібнення зерна на удосконалення використання енергії активного удару робочими органами. Тому, необхідно провести дослідження спрямовані на визначення енергії руйнування зерна та впливу на цей процес конструктивних параметрів подрібнювача.

Мета дослідження. Обґрунтувати оптимальні конструктивні параметри подрібнювача зерна ударної дії які здатні забезпечити мінімальні витрати енергії при максимальній інтенсивності руйнування зерна.

Результати дослідження. Дослідження проводилися у міжфакультетській лабораторії сучасних технологій Сумського НАУ і спрямовані на визначення максимальної інтенсивності руйнування зерна при його подрібненні.

Вклад основного матеріалу дослідження. Прове-

дений аналіз літературних джерел, [4,5,6,7,8] з роботи подрібнювачів дозволив визначити основні конструктивні і технологічні фактори, що суттєво впливають на процес подрібнення зерна.

Процес подрібнення в подрібнювачах ударної дії повинен створювати умови руйнування зерна, за яких на матеріал багаторазово діє механічне навантаження робочими органами, що в свою чергу сприяє зменшенню часу роботи на подрібнення та знижує енерговитрати.

При взаємодії зернини з ударними елементами ротора відбувається часткове руйнування, а в подальшому під дією відцентрової сили зернина потрапляє на відбивну пластину статора, де і має місце процес інтенсивного руйнування. При цьому зернина в результаті удару повністю не руйнується, а енергія витрачена, процес подрібнення може бути не завершений. Цю проблему розглянуто в роботі [9]

але процес подрібнення, досліджувався без урахування відбивних пластин у вигляді конструктивних елементів статора. Розроблена та запропонована конструкція подрібнювача ударної дії (патент на корисну модель UA № 115612 U., B02C 13/2., 25. 04. 2017, Бюл. №8) [8] дозволяє значно підвищити ступінь подрібнення, завдяки значного підвищенню "лобового" удару. Процес подрібнення приведено на схемі (Рис.1). При обертанні ротора, подрібнювальний матеріал 3 захоплюється ударними елементами 1 і направляється на відбивні пластини 2, які закріплені між ротором і статором. При цьому, таке розташування відбивних пластин 2 забезпечує рух матеріалу перпендикулярно до їх площі. Тобто має місце "лобовий" удар зернини по відношенню до відбивних пластин 2. При такому розташуванні відбивної пластини 2, сила удару буде максимальною, а відповідно і максимальною інтенсивністю руйнування.

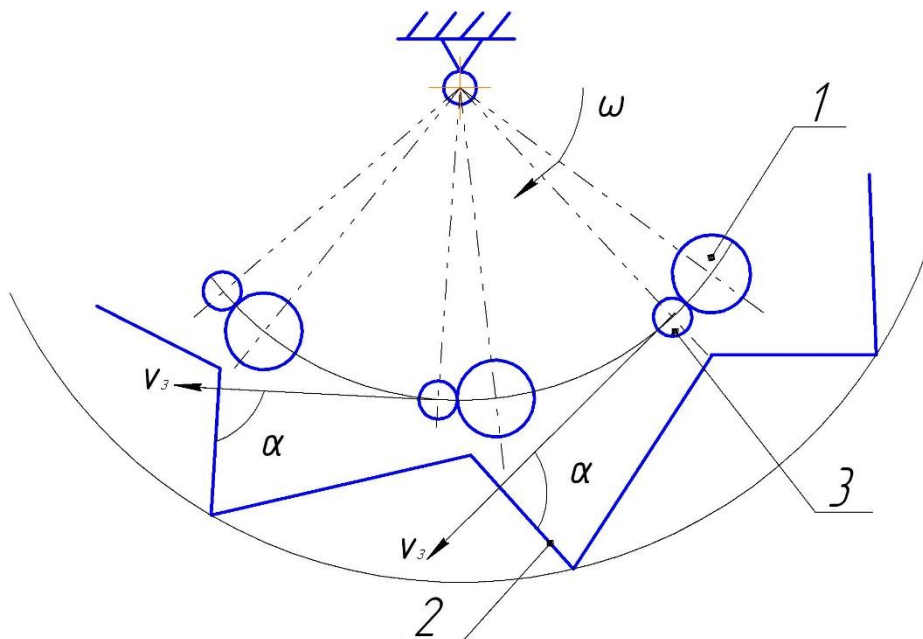


Рис.1. Схема подрібнення.

1-ударний елемент ротора; 2-відбивна пластинка статора;
3-подрібнювальний матеріал; α -кут між нормаллю до поверхні відбивної пластини та напрямком руху ротора; V_3 –напрямок руху зернини.

З метою аналітичного ґрунтування максимальної інтенсивності руйнування зерна при його подрібненні розглянемо подрібнення з використанням подрібнювача ударної дії (Рис.1) до конструктивних елементів якого, входять відбивні пластини статора.

Коли зернина потрапляє до робочої камери в зону подрібнення подрібнювача вона зустрічається з ударним елементом ротора, де частково підлягає руйнуванню, а потім потрапляє на відбивну пластину статора, де має місце ударний імпульс S [9].

$$S = \int_0^t F_D dt - m_3(V_3 - v_3), \quad (1)$$

де F_D - сила удару по відбивній пластині, Н;
 m_3 - маса зернини, кг;
 v_3 і V_3 – швидкість зернини відповідно до та після удару, м/с.

Якщо поверхня відбивної пластини ідеально гладка та жорстко закріплена під кутом α до напрямку руху ротора, то можна визначити швидкість та напрям польоту зернини після удару по відбивній пластині[8].

$$V_3 = v \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha}; \quad \beta = \operatorname{arcctg}(\varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \quad (2)$$

де V_3 – швидкість зернини після удару, м/с;

V_n – лінійна швидкість ротора, м/с;

α – кут між нормаллю до поверхні відбивної пластини

та напрямком руху ротора, град;

β – кут відбиття зернини від поверхні ударного елемента ротора, град;

ε – коефіцієнт відновлення зернини після удару, який визначається з довідника, або експериментальним шляхом за залежністю;

$$\varepsilon = \sqrt{h_B/h} \quad (3)$$

де h_B – висота відбиття зернини від поверхні пластини, м;

h_n – висота падіння зернини, м.

За своєю структурною будовою зерно являється анізотропним не ідеально пружним тілом, що має своє невід’ємне значення пружності, та зусилля що прикладене на руйнування, тому потрібно враховувати такі показники як площа поверхні зернини та її об’єм.

Площу поверхні зернини та об’єм можна визначити за виразами [4]:

$$S_3 = 4\pi R \cdot (l + 3R); V_3 = K_3 abl \quad (4)$$

де S_3 - площа поверхні зернини, m^2 ;

V_3 - об’єм зернини, m^3 ;

a, b, l - відповідно товщина, ширина та довжина зернини, м;

$R = (5a + 6b) / 60$ – приведений радіус зернини, м;

K - коефіцієнт, що враховує форму зернини.

Розміри зерна, показники міцності, сорт та його вологість впливають на процес подрібнення із відповідними додатковими витратами які потрібно враховувати при розрахунках та аналізу руйнування.

Для визначення розмірів зернини застосовуємо залежності:

$$d_{np} = (5a + 6b) / 30 \quad (5)$$

Умовою подрібнення зернини буде співвідношення: $F_d \geq F_{руйн}$, де $F_{руйн}$ - сила руйнування зерна стиском. Визначимо силу руйнування зерна за виразом:

$$F_p = \frac{m_3 \cdot \omega \cdot \sin \alpha}{(5a + 6b) / 30} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot (1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (-\mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) \cdot \rho}} \quad (6)$$

де F_p – сила руйнування зерна, Н;

m_3 - маса зернини, кг;

ω - швидкість руху ротора, c^{-1} ;

a, b, l - товщина, ширина та довжина зернини, м;

α - кут між напрямом руху зернини після взаємодії із ударним елементом і відбивною пластиною, *град*;

E - модуль пружності зсувних деформацій;

ε - коефіцієнт відновлення зернини після удару (за довідником);

μ - коефіцієнт поперечної деформації для зерна (в розумінні коефіцієнта Пуассона);

ρ - густина зернини.

Для нашого випадку, точка контакту з відбивною пластиною зернини, з урахуванням положення кута α може бути описана з достатньою вірогідністю частиною формули(6), а саме:

$$F_p = \frac{m_3 \cdot \omega \cdot \sin \alpha}{(5a + 6b) / 30} \quad (7)$$

де F_p - сила руйнування зернини, Н;

m_3 - маса зернини, кг;

ω - швидкість руху ротора, c^{-1} ;

α - кут між напрямом руху зернини після взаємодії із ударним елементом і відбивною пластиною, *град*;

a, b, l - товщина, ширина та довжина зернини, м;

Аналізуючи формулу (7) приходимо до висновку, що найбільша інтенсивність руйнування зерна подрібнювачем ударної дії за схемою (Рис.1) з встановленими відбивними пластинами відбувається при куту положення відбивної пластини – $\alpha = 90^\circ$. Також, позитивно на інтенсивність руйнування буде впливати маса зернини та лінійна швидкість ударного елемента. При $\alpha = 90^\circ$ має місце "лобовий" удар. Зі збільшенням або зменшенням кута α (більше або менше 90°) інтенсивність руйнування знижується.

Висновок. Аналітично визначена та експериментально підтверджена максимальна ефективність подрібнення зерна подрібнювачем ударної дії при встановленні відбивних пластин під кутом 90° до напрямку руху зернини, що забезпечується максимальною інтенсивністю його руйнування.

Список використаної літератури:

1. Биргер А.И. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / А.И. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б.Иосилевич. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1979.-702 с.
2. К. Джонсон. Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. / К.Джонсон,-М.: Мир, 1989.-510 с.
3. Механизация приготовления кормов: Справочник //Под. Ред. В.И. Сыроватка – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
4. Ревенко І.І. та ін. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. К.: Урожай, 1999. – 191 с.
5. Сердюк В.В., Руденко В.А. Дослідження процесу подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем. Вісник СНАУ, випуск 10(25), 2013. с.117-121.
6. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
7. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. – 448 с.
8. Патент на корисну модель UA № 115612 U.,B02C 13/2., 25. 04. 2017, Бюл. №8. Подрібнювач зерна ударної дії.
9. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1979. – Т. 2. – 544 с.

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

Plavinsky V.I., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

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

Destruction of grain by working bodies of the impact cutter.

The article discusses the intensity of grain destruction from the point of view of process optimization, analysis of the results of experimental studies on grain refining with an impact grinder, taking into account the optimal design parameters. The interaction of grain with rotor impact elements and stator chops was investigated, analytical calculations of structural elements that directly affect the intensity of grain destruction were carried out. The grinding process in impact grinders should create conditions for the destruction of grain, under which the material is repeatedly subjected to mechanical loading by the working bodies, in turn, this helps to reduce the time for grinding and reduces energy consumption.

When the grain interacts with the impact elements of the rotor, partial destruction occurs, and later, under the action of the centrifugal force, the grain falls on the stator reflecting plate, where the process of intensive destruction takes place. In this case, the grain as a result of the impact is not completely destroyed, and the energy is expended, the grinding process may not be completed. The grinding process was studied without taking into account the chop plates in the form of structural elements of the stator. The design of a percussion grinder has been developed and proposed (patent for a useful model UA No. 115612 U., B02C 13/2, 25 04. 2017, Bul. No. 8), which allows to significantly increase the degree of grinding due to a significant increase in "frontal" impact.

The principle of operation of this design is as follows - when the rotor rotates, the crushed material is carried away by the impact elements and directed to the chop plates fixed between the rotor and stator. This arrangement of the baffle plates ensures the movement of material perpendicular to their area. That is, there is a "frontal" impact of the grain in relation to the chops. With this arrangement of the reflective plate, the force of destruction of the grain is greatest, and, accordingly, the intensity of destruction will be maximum.

Analyzing the results of the study, we come to the conclusion that the greatest intensity of grain destruction by a percussion grinder with installed chops occurs at the angle of the reflective plate position in relation to the direction of grain movement ($\alpha = 90^\circ$). Also, the grain mass and the linear velocity of the striking element will have a positive effect on the intensity of destruction. At $\alpha = 90^\circ$ "frontal" impact takes place. With an increase or decrease in the angle α (more or less than 90°), the intensity of destruction decreases.

Key words: *intensity of destruction, grinding, grain, degree of grinding, baffle plate, impact element.*

Дата надходження до редакції: 19.09.2020 р.