

## ПОДРІБНЕННЯ ОПТИМІЗОВАНИХ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ

**О. І. Шаповаленко, д.т.н., професор**

**О. О. Євтушенко, к.т.н., доцент**

**А. О. Петренко, аспірант**

**О. В. Шатківська, магістрант**

*Національний університет харчових технологій*

В статті наведені результати експериментальних досліджень процесу подрібнення зернової та олійної сировини, а також їх сумішей у різних співвідношеннях. Рекомендовано створення зернових сумішей з подальшим їх подрібненням до необхідних параметрів. Були розроблені три суміші, оптимізовані за мінімальною ціною одиниці.

**Ключові слова:** *подрібнення, зерно, модуль крупності, помел.*

**Вступ.** Процес подрібнення являє собою процес зменшення розмірів пружно-крихкого тіла від початкової крупності до необхідної під дією зовнішніх сил [1].

Подрібнення є найбільш поширеною операцією в технологічному процесі підготовки зернової сировини на виробництві. В результаті подрібнення утворюється багато частинок з великою загальною площею поверхні, що сприяє прискоренню травлення сільськогосподарськими тваринами і засвоювання поживних речовин корму. При цьому, розрізняють три ступені подрібнення зернової сировини: дрібний (на ситі з отворами діаметром 3 мм залишається до 5% сировини), середній (12 % залишку) та крупний (більше 30 % залишку) [2].

Процес подрібнення зернових продуктів найбільш ефективний і найменш енергоємний, коли поєднується одночасне пластичне деформування оболонок зернових продуктів і крихке деформування їхніх ядер. Тому в подрібнювачі необхідно створити такий рух, щоб забезпечити у розмелювальних частинках зерна деформації стиску з одночасним зсувом.

На приготування кормів у тваринництві витрачається 40-45 % усіх витрат праці. Більшість технологій приготування кормів передбачає подрібнення зерна, як основного компонента кормових сумішей. Для цього використовуються декілька типів дробарок, із яких основним є молоткові дробарки. Але вони мають високу

енергоємність подрібнення, яка складає 9-15 кВт·год/т. Відомі наукові дослідження, які стосуються зниження енергоємності подрібнення зерна, присвячені оптимізації конструктивно-кінематичних параметрів дробарок і не зачіпають принципових основ руйнування твердих тіл. Відомо, що тверде тіло характеризується наявністю просторової системи мікро- і макродефектів, через які опір руйнуванню можна знизити у 100...1000 разів. Зерно складається із скелета, який має пружні властивості, а також наповнювача, який має в'язкі властивості. У зв'язку з цим, для якісного подрібнення молоткові дробарки повинні працювати, коли швидкість молотків складає 110...114 м/с, а кількість ударів по одній зернині досягає 30...40 ударів. Тому логічним є попереднє деформування зерна пристроями з низькою швидкістю. При цьому зерно попередньо починає руйнуватись, і у самій дробарці для його остаточного руйнування необхідно значно менше енергії [3].

При обліку витрат електроенергії під час досліджень встановлено, що при подрібненні в вальцьовій дробарці з двома парами вальців електроенергія економиться приблизно наполовину в порівнянні з двома молотковими дробарками, а молотковий і вальцьовий подрібнювачі разом споживають електроенергії приблизно на третину менше, ніж молоткові [4].

В роботі [5] зазначено, що шляхом вбудовування вальцьових дробарок в нові або існуючі лінії можна істотно поліпшити структуру комбікорму при значному зниженні витрат на електроенергію. При частій зміні рецептур рекомендується оснащувати вальцьові верстати пристроєм зміни частоти обертання вальців і відносних колових швидкостей, а також автоматичним виміром і дистанційним регулюванням зазору між вальцями.

**Матеріали і методи.** Сировиною для дослідження було обрано зерно кукурудзи (ДСТУ 4525:2006), зерно пшениці (ДСТУ 3768:2010), зерно сої (ДСТУ 4964:2008), насіння соняшнику (ДСТУ 4694:2006), насіння льону олійного (ГОСТ 10852-86) та їх суміші.

Подрібнення проводилось на лабораторному млині ЛМ-2 (рис. 1). Млин призначений для подрібнення зерна сільськогосподарських культур і продуктів їх переробки з вологістю не більше 20,0 %.

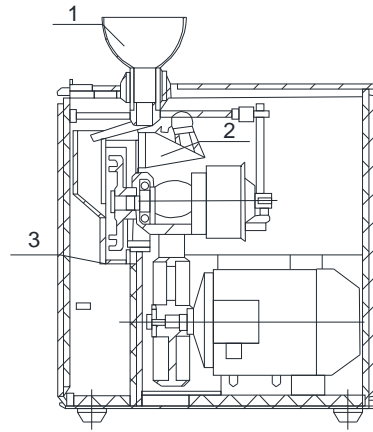


Рис. 1. Схема лабораторного млина ЛМ-2: 1- воронка, 2 – вібрлоток, 3 – розмельна камера

Крупність розмелу визначали просіюванням 100 г наважки на наборі полотен решітних з отворами діаметром від 1 до 5 мм з подальшим зважуванням отриманих сходів із кожного сита, після чого розраховували модуль крупності.

**Результати.** Лінійні розміри зерна визначають його крупність, яка є найважливішим показником якості зерна. У великому зерні більше ендосперму і менше оболонок і тому вище вихід готових продуктів з зерна. Крупність пов'язана з хімічним складом зерна та іншими його характеристиками. Гранулометричний склад досліджуваних зразків зернової сировини представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Гранулометричний склад зернової сировини

№	Вид фракції	Розподіл сировини після сепарування, %				
		Пшениця	Кукурудза	Соя	Соняшник	Льон
1	Сх. Ø7 мм	-	88,5	-	-	-
2	Сх. Ø6 мм	-	8,5	46,7	36,9	-
3	Сх. Ø5 мм	-	1,5	-	49,1	-
4	Пр. Ø5 мм	-	1,5	-	-	-
5	Сх. Ø3 мм	95,9	-	50	13,9	0,2
6	Пр. Ø3 мм	-	-	-	0,1	-
7	Сх. Ø2 мм	3,9	-	3,1	-	97,6
8	Сх. Ø1 мм	0,2	-	0,2	-	2,0
9	Пр. Ø1 мм	-	-	-	-	0,2

При дослідженні гранулометричного складу (табл. 1) була визначена крупність для кожного зразка. При цьому найбільш однорідним за крупністю було зерно пшениці (95,9 % зернин мали середній розмір 4,0 мм), зерно кукурудзи (88,5 % - схід з полотна решітного діаметром 7 мм) та насіння льону (97,6 % насінин із середнім розміром 2,5 мм).

Для проведення подальших досліджень були розраховані три суміші, оптимізовані за вартістю однієї одиниці обмінної енергії (ОЕ), сирого протеїну (СП) та сирого жиру (СЖ) з урахуванням максимальної норми згодовування компонентів для відгодівлі свиней (табл. 2), які порівнювались з найдешевшою сумішшю.

За прототип дешевої суміші була обрана суміш №1, яка складалась з 25 % пшениці та 75 % кукурудзи. Цільовою функцією для використання елементу «Пошук рішення» в програмі Microsoft Excel була задана мінімізація вартості 1 % ОЕ (суміш №2), 1 % СП (суміш №3) та 1 % СЖ (суміш №4). Обмеженнями виступали максимальні норми при відгодівлі, загальна сума всіх компонентів на рівні 100 % та невід'ємність складових рецепту. Результати обчислень наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристика зернових сумішей

Показники	Суміш №1 (прототип)	Суміш №2 (ОЕ)	Суміш №3 (СП)	Суміш №4 (СЖ)
Пшениця, %	25	10	35	14
Кукурудза, %	75	75	54	75
Соняшник, %	-	15	-	-
Соя, %	-	-	11	-
Льон, %	-	-	-	11
Ціна 100 кг суміші, грн.	350,00	372,50	405,00	420,00
Вартість 1 % СП, грн.	38,78	42,11	32,45	39,22
Вартість 1 % СЖ, грн.	0,0085	0,0105	0,0131	0,0077
Вартість 1 МДж ОЕ, грн.	2581,85	2434,50	2984,62	2872,94
Кормових одиниць, кг в 100 кг	127,5	132	126,5	134,1

Аналіз розрахункових даних табл. 2 показав, що у відповідності до конкретних умов замовника можна виготовити зернові суміші, які матимуть свої переваги та недоліки. Зокрема, суміш №1 має найменшу ціну на рівні 3,50 грн. за 1 кг, що дешевше інших сумішей від 0,22 грн. до 0,70 грн., хоча вона не досягає мінімальної вартості хоча б по одному із запропонованих показників СП, СЖ та ОЕ. Так, найменшу вартість СП визначено для суміші №3 – 32,45 грн./%, що дешевше СП суміші №1 на 6,33 грн./%; найменшу вартість СЖ визначено для суміші №4 – 0,0077 грн./%, що дешевше СЖ суміші №1 лише на 0,0008 грн./%; найменшу вартість ОЕ визначено для суміші №2 – 2434,50 грн./МДж, що значно дешевше ОЕ суміші №1 на 147,35 грн./МДж.

В подальшому, суміші № 2 ...4 були подрібнені, з них відбирали наважки масою 100 г та провели ситовий аналіз. Результати щодо крупності подрібнення сумішей наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Крупність подрібнення сумішей

Назва суміші	Маса сходових продуктів, г						Механічні втрати, г
	5 мм	4 мм	3 мм	2 мм	1 мм	Піддон	
Суміш № 2 – ОЕ	1,7	1,8	3,8	14,1	47,8	30,5	0,3
Суміш № 3 – СП	1,5	3,4	11,7	20,3	43,2	19,9	0,0
Суміш № 4 – СЖ	0,6	1,9	5,6	21,5	54,7	15,2	0,5

Аналіз результатів досліджень, наведених в табл. 3, дозволив розрахувати модуль крупності сумішей, який для суміші № 2 (ОЕ) становив 1,5 мм, для суміші № 3 (СП) – 1,9 мм, а для суміші № 4 (СЖ) – 1,8 мм. Всі помели, за даним показником, можна класифікувати як середні за крупністю. Таким чином, за результатами досліджень подрібнення можна рекомендувати створення попередніх зернових сумішей з подальшим їх подрібненням до необхідних параметрів.

**Висновки.** За результатами дослідження партій зернової олійної сировини можна рекомендувати такі розміри полотен решітних для відокремлення дрібних домішок із сировини: пшениця та соя – № 20, кукурудза – № 50, соняшник – № 30, льон – № 10.

На основі оптимізаційних обчислень встановлено, що найменшу ціну в 3,50 грн. за 1 кг зернової суміші можна отримати додавши до 75 % кукурудзи 25 % пшениці. Проте, якщо замінити 15 % пшениці на 15 % соняшнику, можна при підвищенні ціни всього на 0,22 грн./кг отримати економію до 147,35 грн. за 1 МДж обмінної енергії, що ще раз доводить ефективність відгодівлі при розрахунку рецептів за допомогою інформаційних технологій.

Подрібнення оптимізованих зернових сумішей показало, що крупність помелу може для всіх зразків є середньою. При цьому можна відмітити, що суміш з підвищеним вмістом сирого протеїну створює більший опір руйнуванню, що призвело до підвищення модуля крупності на 0,1 мм в порівнянні з сумішшю з підвищеним вмістом сирого жиру та на 0,4 мм в порівнянні з сумішшю з підвищеним значенням обмінної енергії і може бути обумовлено як хімічним складом компонентів, так і їх співвідношенням.

### Список літератури

1. Єгоров, Б. В. Технологія виробництва комбикормів / Б. В. Єгоров. – Одеса: Друкарський дім, 2011. – 448 с.
2. Бойко, Ю. І. Дослідження процесу подрібнення зернових продуктів і розроблення нової конструкції кулькового подрібнювача: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Бойко Юрій Іванович ; НУХТ. - К., 2006. - 20 с.
3. Запорожець, М. А. Зниження енергоємності подрібнення зерна. – Режим доступу:[http://econf.at.ua/publ/konferencija\\_2016\\_05\\_19\\_20/sekcija\\_4\\_tekhnichni\\_nauk\\_i\\_znizhennja\\_energoemkosti\\_podribnennja\\_zerna/46-1-0-981](http://econf.at.ua/publ/konferencija_2016_05_19_20/sekcija_4_tekhnichni_nauk_i_znizhennja_energoemkosti_podribnennja_zerna/46-1-0-981)
4. Коротков, В. Г. Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок / В. Г. Коротков, С. В. Кишкилев, С. В. Антимонов, В. П. Попов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. - №3. – с. 17-20.
5. Лухт, Т. Ступенчатое измельчение в молотковой и вальцевой дробилках / Т. Лухт // Комбикорма. – 2012. - №1. – с. 55.

## ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ

**О. И. Шаповаленко, д.т.н., профессор**

**О. А. Евтушенко, к.т.н., доцент**

**А. А. Петренко, аспирант**

**Е. В. Шатковская, магистрант**

*Национальный университет пищевых технологий*

В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса измельчения зернового и масличного сырья, а также их смесей в различных соотношениях. Рекомендовано создание зерновых смесей с последующим их измельчением до необходимых параметров. Были разработаны три смеси, оптимизированные по минимальной цене единицы.

**Ключевые слова:** *дробление, зерно, модуль крупности, помол.*