

УДК 631.363.2.636

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЦЕСУ КОМБІКОРМОВОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАВДЯКИ  
ЗАСТОСУВАННЮ ГРАВІТАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА**

*О. Гвоздєв, к. т. н.*

*ПП Науково-виробнича компанія "Роста"*

*Б. Болтянський, к. т. н.*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*А. Парієв, к. т. н.*

*Запорізький науково-дослідний центр механізації тваринництва*

*В. Дмитрів, д. т. н., В. Городняк, асистент*

*Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Виходячи з потреб України на сучасному етапі розвитку виробничих відносин, необхідності збереження енергоресурсів, поліпшення якості та розширення асортименту продовольчих товарів, вирішення проблеми децентралізації переробки зерна в автономних умовах фермерських господарств та малих переробних підприємств можливе завдяки їх забезпеченню технічними засобами конкретного технологічного призначення та завершеного технічного рішення [1].

За допомогою більшості існуючих кормовиробничих машин задовільно вирішуються питання механізації приготування кормів, але не завжди це відповідає зоотехнічним, технологічним і технічним вимогам. Вони енергоємні, громіздкі, малопродуктивні і вимагають великих витрат праці та коштів. Тому спеціалісти господарств відчують величезні труднощі під час вибору обладнання, відновлення або нової організації виробництва комбікормів.

Таким чином, учені вживають спроби вдосконалення технологічного процесу виробництва комбікормів у напрямі створення машин та обладнання, де використовуються нові принципи й фактори, які суттєво впливають на якість комбікорму, що виробляється, підвищення продуктивності й зниження енергоємності процесу.

Технологічний процес приготування комбікормів у господарствах повинен охоплювати такі основні операції: прийом сировини; очищення сировини від сторонніх домішок (сепарація); подрібнення зернової сировини; дозування окремих компонентів згідно із заданим рецептом; змішування; зволоження; облік і видача комбікормів [2].

Задовольнити високі сучасні вимоги й реалізувати зазначені перспективні напрями вдосконалення обладнання можуть лише нові типи машин, засновані на принципах дії, що якісно відрізняються від традиційних. Пошук сучасних конструктивних і технологічних рішень окремих видів обладнання повинен ґрунтуватися на спеціальних моделях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Удосконаленням систем ведення, розвитку теорії і практики комбікормового виробництва і вдосконаленням процесів та апаратів для його здійснення займалося багато вчених у різних країнах і в різний час [1 – 10].

Пошук сучасних конструктивних і технологічних рішень окремих видів обладнання повинен ґрунтуватися на спеціальних моделях. Під час розроблення обладнання для класифікації й сепарації сипких матеріалів можна використовувати модель ідеального гравітаційного сепаратора Н. Е. Авдєєва [3; 4]. Для вдосконалення конструкцій дробарок можна використати трьохелементну фізичну модель дробарки, запропоновану С. В. Мельниковим, або представити робочий процес дробарки як марковський процес «розмноження й загибелі» за В. Р. Алешкиним, або як модель пошарового дроблення, яку розробив В. І. Сироватка.

Під час удосконалення зволожувача комбікормів найбільш ефективно змішувати комбікорм з рідиною в падаючому потоці при дрібнодисперсному розпиленні рідини [6].

Усе викладене дає підстави для висновку, що на сьогодні відсутні ефективні технології й технічні засоби, що інтенсифікують процес приготування комбікормів в умовах сільськогосподарських підприємств. Тому в технологічних процесах приготування комбікормів необхідно впроваджувати гравітаційні процеси.

**Постановка завдання.** Мета дослідження – удосконалення технологічного процесу приготування комбікормів з розробкою обладнання з інтенсифікуючими робочими органами на основі використання гравітаційних процесів під час сепарації, подрібнення та зволоження кормових матеріалів.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з перших і найважливіших технологічних операцій при прийманні, переробці і зберіганні зерна є сепарування, тобто розділення сипких матеріалів на фракції, які відрізняються властивостями часток. Від попереднього очищення зерна (сепарування) залежить завантаження, продуктивність і

ефективність роботи машин під час наступних операцій обробки і переробки зерна та техніко-економічні показники виробництва [2; 10].

Аналіз розвитку обладнання для процесу сепарації зерна виявив його особливість, що полягає в збільшенні питомої енергоємності сепараторів зі зменшенням їх продуктивності. Негативність цієї тенденції виявляється особливо гостро зараз, коли основний обсяг робіт з очищення і переробки зерна та продуктів його подрібнення виконується безпосередньо виробником, що зумовлює підвищений інтерес до малогабаритного (з низькою питомою енергоємністю) обладнання.

Встановлено, що підвищення ефективності роботи зерноочисних решіт та зниження енергоємності процесів розділення сипких матеріалів можуть бути забезпечені за їх ведення в гравітаційному полі тільки за рахунок потенційної енергії продукту, піднятого на висоту завантажувального пристрою сепаратора [4].

Тому для збільшення пропускної здатності сепаратора та інтенсифікації процесу запропоновано проводити гравітаційне сепарування за допомогою щілинного отвору, розташованого перпендикулярно напрямку руху суміші, з довжиною, що обмежується тільки габаритами поділяючої поверхні, виконаної у формі кривої брахистохронної властивості [11].

Для виконання зоотехнічних вимог контрольованих параметрів при роботі розробленого гравітаційного сепаратора проведено теоретичний аналіз процесу функціонування основних робочих органів з метою обґрунтування діапазону оптимальних конструктивно-технологічних параметрів. У результаті отримано аналітичні вирази, за якими обґрунтовані оптимальні конструктивно-технологічні параметри гравітаційного сепаратора.

Виходячи з проведеного аналізу літературних і патентних джерел та результатів теоретичних досліджень розроблено спосіб гравітаційного сепарування зернових продуктів (патенти № 70770; 72583). Для здійснення цього способу розроблена експериментальна установка та проведено експериментальні дослідження з визначення основних конструктивно-технологічних параметрів гравітаційного сепаратора зернових продуктів.

Аналіз отриманих поверхонь відгуку та двовимірних перетинів (рис. 1) ефективності  $\epsilon$  виділення зернівок у щілинні отвори гравітаційного сепаратора у функції від ширини  $L$  та висоти щілини  $H$  показав, що функція має оптимум. Оптимальному значенню функції (максимальної для даних умов ефективності виділення зернівок у

щілинний отвір гравітаційного сепаратора ( $\varepsilon = 89,96\%$ ) відповідають такі значення факторів:  $L = 16$  мм,  $H = 1,1$  мм. Відхилення теоретичних значень  $L$  та  $H$  від експериментальних у всьому діапазоні зміни параметрів не перевищує  $9\%$ , що підтверджує адекватність отриманих даних [11].

Таким чином, визначено тісний взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів процесу сепарації зерна з розмірами зерна та їх швидкістю руху по сепаруючих поверхнях гравітаційного сепаратора. За результатами досліджень розроблено методики: прогнозування результатів сепарації зернової суміші крізь щілинні отвори гравітаційного сепаратора та розрахунків основних параметрів гравітаційного сепаратора, тобто визначення інтенсивності виділення компонентів вихідного матеріалу кожної фракції крізь отвори, ширини щілини  $L$  та висоти між сусідніми крайками  $H$  поверхонь брахистохронної властивості у взаємозв'язку з еквівалентним діаметром  $d_e$  зернівок та їх швидкістю  $v_k$ , до якої вони розганяються на сепарувальних поверхнях.

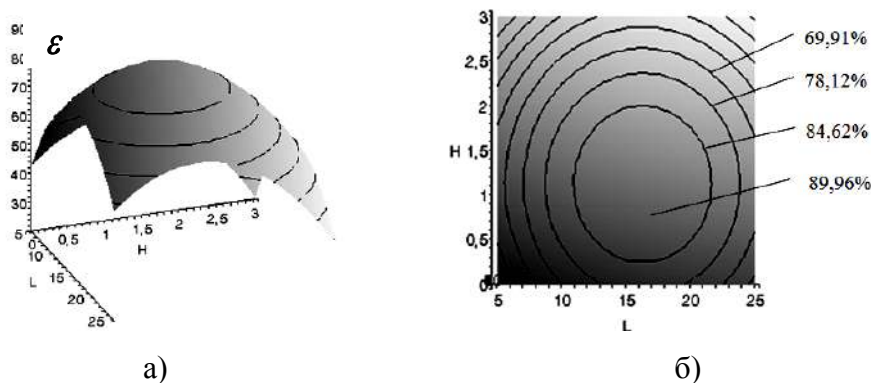


Рис. 1. Ефективність виділення зернівок у щілинні отвори гравітаційного сепаратора: а – поверхня відгуку; б – двовимірні перетини ефективності виділення зернівок у щілинні отвори гравітаційного сепаратора  $\varepsilon$  у функції від ширини  $L$  та висоти щілини  $H$  при  $l/d = 3$  та  $v = 0,8$  м/с.

Підвищити ефективність подрібнення зерна можна за рахунок багатоступеневого подрібнення та видалення подрібнених часток із дробильної камери при переході від одного ступеня подрібнення до іншого, що означає відсутність переподрібнення матеріалу й зменшення маси циркулюючого навантаження. А для ефективного подрібнення зерна необхідний спрямований його рух назустріч робочому органу для здійснення прямого удару. Причому прямий удар

необхідно здійснювати тонкими молотками, наприклад у вигляді пальців, стрижнів [12].

На підставі викладеного та за результатами власних досліджень нами розроблено спосіб подрібнення зерна, який реалізується таким чином (рис. 2). Попередньо очищене від домішок зерно гравітаційно подається на попередню сепарацію зерна на фракції за розмірами за допомогою поверхонь брахистохронної властивості зі щілинними отворами. Сепарація зерна за допомогою поверхонь брахистохронної властивості зі щілинними отворами забезпечує виділення спочатку фракцій зерна великих розмірів, потім середніх та дрібних. Це забезпечує раціональний режим завантаження камери подрібнення від центра до периферії, що відповідає розподілу сили удару на подрібнення для кожної фракції (за способом, що пропонується), на відміну від молоткової дробарки [12].

Для здійснення експериментальних досліджень описаного способу подрібнення зерна розроблена експериментальна дробарка. Технічна новизна розробленого способу подрібнення зерна й конструкції дробарки з попередньою гравітаційною сепарацією зерна підтверджена чотирма патентами України на винахід [№ 76556, № 86897, № 93312, № 95435] та сімома патентами України на корисну модель [№ 3304, № 11099, № 50426, № 61505, № 66485, № 91464, № 95300].

Розроблено комп'ютерну програму та методику побудови конусного пристрою попередньої гравітаційної сепарації зерна, на яку отримано патент України на корисну модель № 62600.

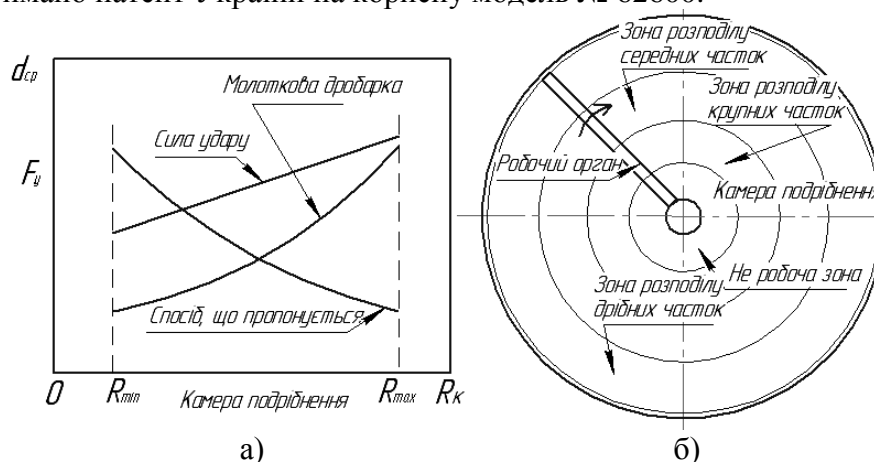


Рис. 2. Способи подрібнення зерна:

а – графіки розподілу часток зерен за розміром та зусиллям удару в зоні подрібнення; б – розподіл фракцій зерен у камері подрібнення.

Проведено експериментальні дослідження з визначення основних конструктивно-технологічних параметрів дробарки з попередньою гравітаційною сепарацією зерна. На підставі отриманих експериментальних даних робимо висновок, що одержання готового продукту заданого гранулометричного складу залежно від вибраного режиму роботи дробарки прямого удару з попередньою сепарацією зерна можливе. Це відповідає меті досліджень. За даними частотного розподілу на фракції при кінематичному режимі подрібнення з параметрами дробарки прямого удару зерна при продуктивності  $Q = 800 \dots 1100$  кг/год і частоті обертання ротора  $n = 2000$  об./хв вміст пилоподібної фракції (діаметр менший ніж 0,25 мм) у готовому продукті за вологості зерна 14...15 % становить: для пшениці – 2,77 %; ячменю – 2,86 % і їх суміші – не більш ніж 2,81 %. Це в 3...5 разів менше, ніж за подрібнення на молоткових дробарках. Якісна оцінка одержаного продукту відповідає встановленим стандартами зоотехнічним вимогам. Питома енергоємність процесу подрібнення в дробарці прямого удару зерна в 1,2...1,5 раза менша, ніж у молоткових та інших дробарках (рис. 3) [12].

Введення біологічно-активних рідких компонентів, мікродобавок і жирів у комбікорми знижує кількість пилоподібної фракції у комбікормі, збільшуючи тим самим його кормову цінність.

Для одержання корму високої вологості (до 70 %) необхідні компактні пристрої великої продуктивності, в яких були б відсутні змішувальні органи, що працюють у масі вологого корму. Результати досліджень [6] показують, що найефективніше змішувати комбікорм з рідиною в падаючому гравітаційному потоці. Для цього розроблена конструкція бункера-зволожувача сипких кормів (патенти України на корисну модель № 72590 та № 75929).

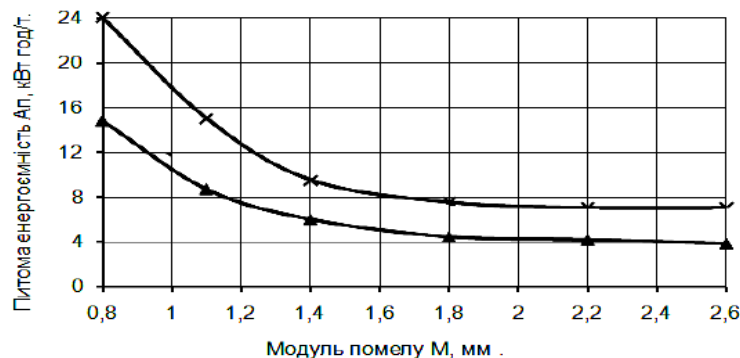


Рис. 3. Залежність питомої енергоємності дробарок від модуля помелу: – експериментальна дробарка; – молоткова дробарка.

За результатами експериментальних досліджень і з урахуванням конструктивних особливостей розподільника зерна бункера-зволожувача встановлено чотири фактори, що мають найбільший вплив на пропускну здатність вивантажувального отвору:  $B$  – товщина шару зернової суміші,  $R$  – радіус вивантажувального отвору бункера,  $W$  – вихідна вологість зернової суміші та  $H$  – висота шару зернової суміші в бункері. Параметри, що рекомендуються для даного випадку при забезпеченні пропускну здатності вивантажувального отвору бункера-зволожувача  $Q_o = 0,8 \dots 1,4$  кг/с:  $R \geq 0,2$  м,  $B \geq 0,45 \cdot 10^{-1}$  м,  $W \leq 16,5$  %,  $H \geq (10 \dots 15)B$  [13; 14].

Регресійний аналіз математичної моделі дав змогу установити центр експерименту з нерівномірністю витікання  $\delta_s \approx 1,2\%$  й параметрами: товщина шару зернової суміші  $B = 40 \dots 60$  мм при гранулометричному складі  $R = 1,0 \dots 1,8$  мм, вологості зернової суміші  $W = 11,5$  % та висоті шару зернової суміші в бункері  $H > 0,47$  м (рис. 4).

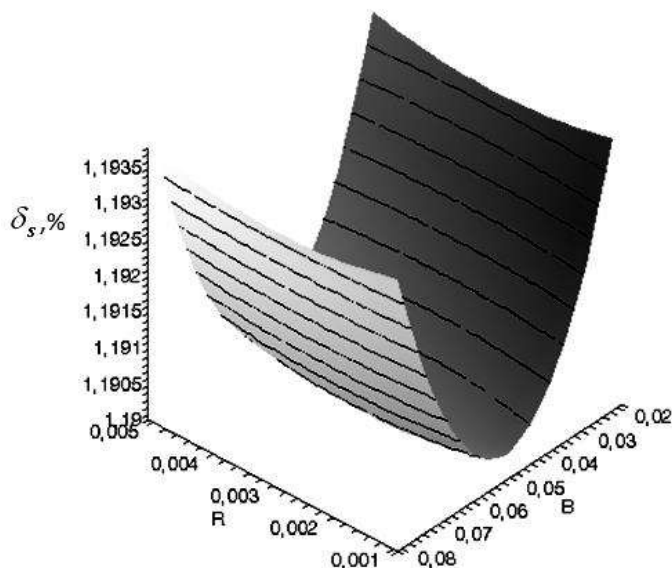


Рис. 4. Поверхні відгуку залежності нерівномірності  $\delta$ , %, витікання зернової суміші з вивантажувального отвору бункера-зволожувача від товщини шару зернової суміші  $B$  та її гранулометричного складу  $M$ .

Експериментальними дослідженнями виявлено зв'язок конструктивних параметрів бункера-зволожувача з показниками якості зволоження зерна, зокрема визначено вплив кута  $\beta$  установки розпилювачів і напору  $P_p$  води на рівномірність зволоження потоку зернової суміші. Найбільш ефективний кут  $\beta$  установки розпилювачів

24...30° щодо горизонталі при необхідному напорі рідини 0,065 МПа [13; 14].

**Висновки.** На підставі викладеного можна констатувати, що вирішення наукової проблеми підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів з розробкою обладнання з інтенсифікуючими робочими органами на основі використання гравітаційних процесів при сепарації, подрібненні та зволоженні кормових матеріалів, а також оптимізації параметрів і режимів роботи основних робочих органів має важливе народногосподарське значення і робить значний внесок у прискорення науково-технічного прогресу й розвитку комбікормового виробництва.

#### **Бібліографічний список**

1. Ермичев В. А. Энергосбережение в технологиях кормопроизводства / В. А. Ермичев, А. И. Купреенко // МЭСХ. – 2005. – № 4. – С. 11–13.
2. Сыроватка В. И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка. – М. : ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 248 с.
3. Авдеев Н. Е. Принципы построения модели идеального сепаратора / Н. Е. Авдеев // Докл. ВАСХНИЛ. – 1978. – № 11. – С. 38–40.
4. Некрасов А. В. Совершенствование процесса гравитационной классификации зернистых смесей и расширение области применения гравитационных сепараторов : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : спец. 05.18.12 / А. В. Некрасов. – Воронеж, 2001. – 24 с.
5. Шпиганович Т. О. Вдосконалення процесу попередньої сепарації зерна в дробарці прямого удару : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / Т. О. Шпиганович. – Сімферополь, 2012. – 21 с.
6. Новиков Н. Н. Исследование и обоснование способа и параметров аппарата для увлажнения комбикорма в падающем потоке : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 / Н. Н. Новиков. – Саратов, 1975. – 17 с.
7. Дмитрів В. Т. Огляд теорій і моделей руху сипких матеріалів у бункерах за атмосферного тиску / В. Т. Дмитрів, Р.В. Городняк // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2008. – № 12(2). – С. 303 – 310.



8. Городняк Р. В. Результати експериментальних досліджень продуктивності дозатора-змішувача компонентів комбікормів / Р.В. Городняк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2015. – Вип.. 212/2. – С. 81 – 87. – (Серія: техніка та енергетика АПК.)

9. Дмитрив И. В. Результаты экспериментальных исследований однородности смешивания дозатора-смесителя дисперсных материалов / И. В. Дмитрив, Р. В. Городняк, Г. М. Дмитрив // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin; Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 4. – P. 21–24.

10. Патент України на винахід № 97118, Україна МПК В01F7/16, В01F3/18, В01F15/04 (2006.01). Дозатор-змішувач / Дмитрив В. Т., Городняк Р. В.; заявник і патентовласник Дмитрив В. Т., Городняк Р.В.; заявл. 13.04.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

11. Шпиганович Т. О. Спосіб гравітаційної сепарації зерна / Т. О. Шпиганович // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12, т. 4. – С.40–46.

12. Гвоздев О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна / О. В. Гвоздев, Т. О. Шпиганович, О. В. Ялпачик // Зб. наук. праць Вінницького НАУ. – 2011. –№ 9. – С. 143–150. – (Серія "Технічні науки").

13. Болтянський Б. В. Визначення конструктивних параметрів камери зволоження кормороздавача комбікормів / Б. В. Болтянський, О. В. Гвоздев, В. О. Гвоздев // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2011. – № 15. – С. 245–253.

14. Гвоздев О. В. Визначення ступеня впливу факторів на витікання зернової суміші крізь вивантажувальний отвір бункера-зволожувача зерна / О. В. Гвоздев, В. О. Гвоздев, Т. О. Шпиганович // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип. 13, т. 1. – С. 171–178.

**Гвоздев О., Болтянський Б., Парієв А., Дмитрив В., Городняк В.  
Підвищення ефективності технологічного процесу комбікормового  
виробництва завдяки застосуванню гравітаційної сепарації зерна**

Робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу приготування комбікормів з розробкою обладнання з інтенсифікуючими робочими органами на основі використання гравітаційних процесів під час сепарації, подрібнення та зволоження кормових матеріалів. Для збільшення пропускної здатності сепаратора та інтенсифікації процесу запропоновано проводити гравітаційне

сепарування за допомогою щілинного отвору, розташованого перпендикулярно напрямку руху суміші, з довжиною, що обмежується тільки габаритами поділяючої поверхні, виконаної у формі кривої брахистохронної властивості. Для ефективного подрібнення необхідно спрямувати рух попередньо відсепарованого зерна за допомогою поверхонь брахистохронної властивості з щілинними отворами назустріч робочому органу. Це забезпечує раціональний режим завантаження камери подрібнення від центра до периферії, що відповідає розподілу сили удару на подрібнення для кожної фракції. Встановлено, що найефективніше змішувати комбікорм з рідиною в падаючому гравітаційному потоці. Тому використання гравітаційних процесів під час сепарації, подрібнення та зволоження кормових матеріалів, а також оптимізація параметрів і режимів роботи основних робочих органів мають важливе народногосподарське значення.

**Ключові слова:** комбікорми, гравітаційний сепаратор, бункер-зволожувач, конструктивно-технологічні параметри.

**A. Gvozdev, B. Boltianskyi, A. Paryev, Dmytriv V., Horodnjak V.  
Incrase the efficiency of technological process of feed production by  
applying gravitational separation of the grain**

The work is dedicated to the improvement of the technological process of preparation of mixed fodders with the development of equipment with intensifying working bodies through the use of gravity separation processes when, grinding and moistening of food materials. To increase the throughput capacity of the separator and conduct proposed process intensification gravity separation using a slotted hole lying perpendicular to the direction of travel with the length of a mixture, which is limited only by the dimensions of the dividing surface formed in the shape of the curve brachistochrone properties. For effective grinding is necessary to pre-directional movement of separated grain surfaces using brachistochrone properties with slotted holes towards the working body. This ensures optimal grinding chamber boot mode from the center to the periphery, which corresponds to the distribution of impact forces on the grinding for each faction. It was found that the most effective mix feed with the liquid in the incident gravitational flow. Therefore, the use of gravity separation processes when, grinding and moistening feed materials as well as optimization of parameters and operating modes of the main working bodies is of great economic importance.

**Key words:** feed, gravity separator, tank-humidifier, structural and technological parameters.

**Гвоздев А., Болтянский Б., Париев А. Дмитриев В., Городняк В.  
Повышение эффективности технологического процесса  
комбикормового производства путем применения гравитационной  
сепарации зерна**

Работа посвящена совершенствованию технологического процесса приготовления комбикормов с разработкой оборудования с интенсифицирующими рабочими органами на основе использования гравитационных процессов при сепарации, измельчении и увлажнении кормовых материалов. Для увеличения пропускной способности сепаратора и интенсификации процесса предложено проводить гравитационное сепарирование с помощью щелевого отверстия, расположенного перпендикулярно направлению движения смеси, с длиной, которая ограничивается только габаритами разделяющей поверхности, выполненной в форме кривой брахистохронного свойства. Для эффективного измельчения необходимо направленное движение предварительно отсепарированного зерна с помощью поверхностей брахистохронного свойства с щелевыми отверстиями навстречу рабочему органу. Это обеспечивает оптимальный режим загрузки камеры измельчения от центра к периферии, что соответствует распределению силы удара на измельчение для каждой фракции. Установлено, что наиболее эффективно смешивать комбикорм с жидкостью в падающем гравитационном потоке. Поэтому использование гравитационных процессов при сепарации, измельчении и увлажнении кормовых материалов, а также оптимизация параметров и режимов работы основных рабочих органов имеют важное народнохозяйственное значение.

**Ключевые слова:** комбикорма, гравитационный сепаратор, бункер-увлажнитель, конструктивно-технологические параметры.