

PROCESS MODELING IN WORKING CHAMBER OF FINGER GRAIN-GROWING CRUSHER

O. Yalpachik, K. Samoychuk, S. Budenko

Taurian State Agrotechnological University

Key words:

*Grain refining
Finger crusher of direct
blow
Modeling
Frequency of rotation
Speed*

Article history:

Received 10.10.2014
Received in revised form
22.10.2014
Accepted 05.11.2014

Corresponding author:

O. Yalpachik
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

As a result of analysis of existent facilities of grain-growing material refining, hammer crushers are distinguished; the structural schemes are considered and their basic defects are marked. The scheme with preliminary separation of grain and refining every shallow faction on separate parts of crusher rotor is acknowledged the most promising. The method is developed and the device of grain refining by the direct blow of operating element shallow is described as metallic fingers of vertical rotor with preliminary separation of grain-growing material. With the purpose of establishing the rational correlations of structural parameters of the developed crusher, the design of a process of grain shallow refining was conducted with the use of programmatic complexes of ANSYS and SolidWorks. The fields of distribution of speeds and lines of motion of grain-refining parts on volume crushers are obtained which testify to the narrow range of speeds distribution in the area of refining and to the diminished amount of circulation motions by comparison to other types of hammer crushers. The experimental data of the grain refining module are presented, which correlate with the results of computer modeling.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У РОБОЧІЙ КАМЕРІ ПАЛЬЦЕВОЇ ЗЕРНОВОЇ ДРОБАРКИ

О.В. Ялпачик, К.О. Самойчук, С.Ф. Буденко

Таврійський державний агротехнологічний університет

У результаті аналізу існуючих засобів дроблення зернового матеріалу виділено молоткові дробарки, розглянуто конструктивні схеми і відмічено їх основні недоліки. Перспективною визнано схему з попередньою сепарацією зерна і подрібненням кожної фракції на окремих частинах ротора дробарки. Розроблено спосіб і описано пристрій подрібнення зерна прямим ударом робочих органів у вигляді металевих пальців ротора з вертикальною віссю обертання з попередньою сепарацією зернового матеріалу. З метою встановлення раціональних співвідношень конструктивних параметрів дробарки, що розробляється, проведено моделювання процесу подрібнення зерна з використанням програмних комплексів ANSYS та SolidWorks. Отримано поля розподілу швидкостей і ліній руху зернових часток по об'єму дробарки, які свідчать про вузький діапазон розподілу

швидкостей у зоні подрібнення та зменшену кількість циркуляційних рухів порівняно з іншими типами молоткових дробарок. Наведено експериментальні дані модуля помелу зерна, що добре корелюють з результатами комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: подрібнення зерна, пальцева дробарка прямого удару, моделювання, частота обертання, швидкість.

Постановка проблеми. Подрібнення зерна при переробці його на корм є одним з найбільш енергоємних процесів комбікормового виробництва. Для цієї операції переважно застосовують дробарки молоткового типу. Як правило, ці дробарки не забезпечують стабільної якості продукту і дають на виході при тонкому подрібненні до 30 % пилоподібної, а при грубому — до 20 % недоподрібненої фракції.

З аналізу найбільш розповсюджених типів подрібнювачів зерна можна виділити схеми, які передбачають попередню сепарацію продукту (зерна), що поступає в дробарку, і забезпечують більш високу якість кінцевого продукту.

Ці схеми можна поділити на такі [1, 2]:

- з відкритим циклом подрібнення;
- з рециркуляцією недоподрібненого матеріалу;
- з багатоступінчастою рециркуляцією і подрібненням;
- з попередньою сепарацією продукту і подрібненням кожної фракції на окремих частинах ротора.

Найбільш перспективною є остання схема, аналіз якої дозволяє стверджувати, що [2, 3]:

- мінімальна енергоємність процесу може бути досягнута поєднанням подачі зерна у певному інтервалі його фізико-механічних властивостей, які б забезпечили найбільш повне подрібнення зерна на даному радіусі ротора й оптимальне завантаження поверхонь молотків;
- при забезпеченні першої умови можливий частковий перехід недоподрібненого зерна на наступний рівень, тому конструкція дробарки повинна передбачати схему багатоступінчастого подрібнення.

Аналіз наукових публікацій, проведений авторами пропонованого дослідження, дав змогу виявити такі найбільш перспективні шляхи вдосконалення конструкцій дробарок прямого удару:

- зниження питомих витрат енергії і питомої металоємності за рахунок застосування як робочого органа дробарки надтонкого молотка у вигляді тонкого металевого стержня або металевої струни;
- організація процесу попередньої сепарації зерна за розміром;
- максимальне виділення подрібненого продукту заданої крупності за рахунок створення ефективних конструкцій сепараторів;
- зниження циркулюючого навантаження у результаті прискореного відводу подрібнених часток з робочої камери;
- збільшення інтенсивності сепарації решітної поверхні за рахунок застосування спеціальної форми розподільної поверхні решета;
- максимальне використання периферійної і торцевої поверхонь камери;

- раціональна організація режиму аспірації дробарки.

Мета дослідження. Розробити спосіб моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки.

Результати і обговорення. У Таврійському державному агротехнологічному університеті розроблений і запатентований спосіб та обладнання для подрібнення зерна прямим ударом робочих органів у вигляді металевих пальців [4, 5]. Така дробарка з попередньою сепарацією зернового матеріалу, дослідний зразок якої показаний на рис. 1, є компактною, не потребує потужного привода і може ефективно використовуватися на малих переробних підприємствах [6].

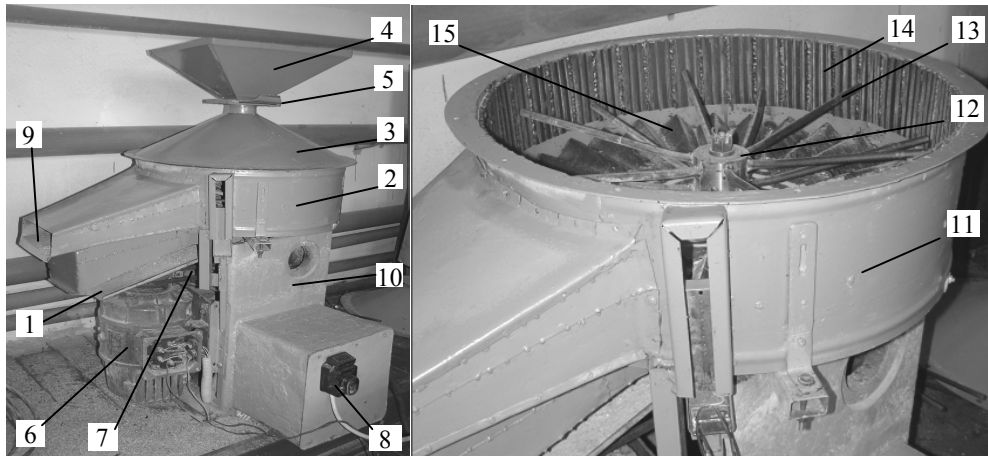


Рис. 1. Фото загального вигляду і робочої камери дробарки:

1 — рама; 2 — камера подрібнення; 3 — сепаратор; 4 — бункер; 5 — регулююча заслінка; 6 — електродвигун; 7 — клинопасова передача; 8 — пульт керування; 9 — зона виходу продукту з нижнього ряду робочих органів; 10 — зона виходу з нижнього жалюзійного решета; 11 — корпус; 12 — вал; 13 — пальці; 14 — дека; 15 — ребристий диск

Експериментальна дробарка з удосконаленою системою сепарації зерна і продуктів подрібнення складається з рами 1, на якій змонтована камера подрібнення 2, над якою кріпиться пристрій 3 для попередньої сепарації зерна, що подається з бункера 4 з регулюючою заслінкою подачі зерна на подрібнення. Під кожухом 3 над камерою подрібнення зерна розташовані розподільні конуси пристрою для попередньої сепарації зерна із брахістохронними поверхнями і таутохронними напрямними. Принцип попередньої сепарації зерна полягає в тому, що продукт (зерно), який підлягає поділу, пропускається в поле сил тяжіння над щілиною, ширина якої значно перевищує розмір найбільших часток і дозволяє розподіляти за гранулометричним складом частини зерна по камері дробарки від більших часток до дрібніших від центру до периферії камери подрібнення. При цьому кожна зернина одержує необхідну силу удару для дроблення. Таке технічне рішення обумовлює компактність пристрою для попередньої сепарації зерна в дробарці без розширення її габаритів.

Привід дробарки здійснюється від електродвигуна постійного струму 6 і клинопасової передачі 7. Частота обертання вала ротора змінюється безступінчасто і контролюється за допомогою електронного тахометра. Камера подрібнення має зубчастий диск 15 із конусними скатними кутами для сепарації продуктів подрібнення.

Подрібнена суміш часток зерна потрапляє на диск і рухається вздовж конусних скатних кутів, здобуваючи при цьому необхідну швидкість під дією відцентрових сил. Під час руху часток суміші уздовж конусних скатних кутів вони сепаруються відповідно до свого розміру крізь канали клинчастої форми і виводяться із зони дроблення за допомогою патрубків 10. Частки зерна, які не відсепарувалися крізь канали клинчастої форми, подрібнюються об деку 14 і виводяться з камери подрібнення через патрубок 9.

Таке технічне рішення руйнування зерна прямим ударом і видалення дрібних частин із дробильної камери в міру їх утворення за допомогою конусних скатних кутів обумовлює компактність дробарки і зниження енергоємності процесу за рахунок усунення багаторазового впливу робочих органів на продукт.

Встановлення потрібних фізичних показників процесу руху та взаємодії продукту подрібнення й робочих органів дробарки в лабораторних умовах є складним і трудомістким, тому для одержання наочного зображення процесів у робочій камері дробарки було вирішено застосувати моделювання за допомогою сучасних обчислювальних комплексів. Для визначення швидкості потоків всередині робочої камери пальцевої дробарки був використаний найбільш розповсюджений програмний комплекс ANSYS Workbench, що являє собою комп'ютерну систему для проектування і виконання зв'язаного міждисциплінарного аналізу методом кінцевих елементів. Програма, яка була застосована для даних досліджень, мала модуль CFX, що надає можливість надійно й ефективно проводити розрахунки, пов'язані з динамікою руху часток з урахуванням імпульсних коливань.

За заданими параметрами були побудовані 3D-моделі дробарки в комп'ютерній програмі SolidWorks з подальшою симуляцією процесу у програмному комплексі ANSYS. Зразки моделей представлені на рис. 2.

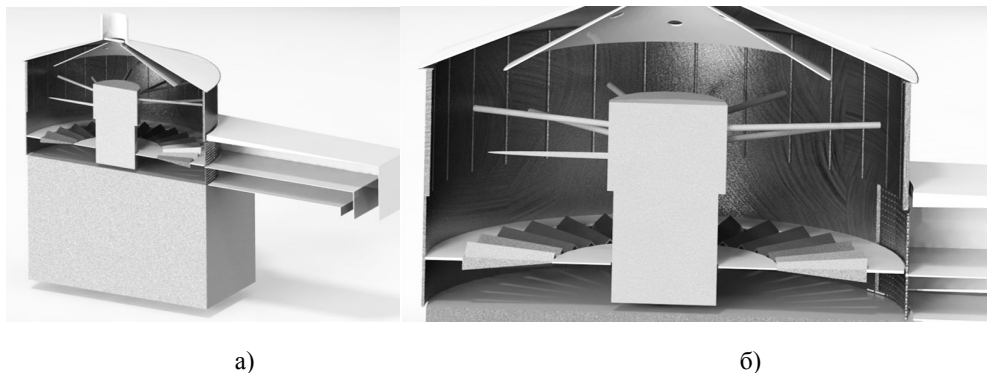


Рис. 2. 3-D модель пальцевої дробарки з вертикальним ротором:
а) загальний вигляд; б) робоча камера

Досліджувався вплив частоти обертання ротора дробарки на розподіл швидкості потоків зерно-повітряної суміші по об'єму робочої камери, змін тиску в порожнині камери, турбулентна кінетична енергія, її дисипація та інші показники процесу.

Алгоритм моделювання показаний на рис. 3.

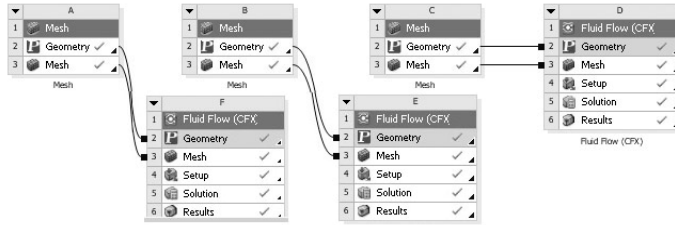


Рис. 3. Алгоритм моделювання процесів у робочій камері дробарки

Дослідження впливу частоти обертання ротора на швидкісні, енергетичні та інші основні показники процесу проводились при фіксованих значеннях частоти обертання ротора, $n=1500, 2000$ та 2500 об/хв, що відповідало коловим швидкостям кінців пальців дробарки $47,1; 62,8$ і $78,5$ м/с. Для цих значень частот отримані наочні зображення ліній швидкісних потоків зернової суміші в порожнині робочої камери дробарки та перерізи полів швидкостей по перетину порожнини робочої камери (рис. 4).

Збільшення частоти обертання ротора, безсумнівно, суттєво впливає на змінення швидкості потоків всередині робочої камери дробарки. Діапазон значення швидкості потоків у різних частинах порожнини камери при частоті обертання $n = 1500$ об/хв становить від $42,9$ до $10,2$ м/с, при $n = 2000$ об/хв — від $57,2$ до $10,6$ м/с і при частоті $n = 2500$ об/хв він коливається в межах $62,1 \dots 10,25$ м/с. Значення швидкості на перерізах швидкості також мають подібні діапазони. Швидкості в основних зонах подрібнення (розташування пальців ротора дробарки) коливаються у межах $18\text{—}25\%$, що свідчить про рівномірне подрібнення часток.

Як видно з рис. 5 а, б, геометричний характер траєкторій швидкісних потоків на всіх досліджених частотах обертання має ідентичний вигляд і наочні зображення відрізняються лише масштабом значень швидкості. В порожнині камери чітко вирізняються певні зони з різними значеннями швидкості. Кількість циркуляційних рухів часток зерна до виходу із зони подрібнення або виведення з дробарки на кожній частині ротора дорівнює $3\text{—}8$. Такі значення свідчать про відсутність умов для переподрібнення зернового матеріалу і високу енергетичну ефективність пальцевої дробарки.

Представлені зони змінення швидкості переміщення повітряно-продуктової суміші по об'єму робочої камери можуть давати конкретні відомості, потрібні на стадії розрахунку, проектування і розробки вискоефективних конструкцій дробарки.

Крім вказаних, розроблені в програмному комплексі ANSYS моделі дають змогу визначати і наочно представляти такі показники процесу, як тиск, коефіцієнт турбулентної в'язкості, турбулентна кінетична енергія тощо,

значення яких за потреби можуть бути використані при вивченні процесів, що відбуваються в робочому об'ємі камери дробарки.

Для порівняння отриманих за допомогою комп'ютерного моделювання даних з експериментальними проведені експериментальні дослідження [7] розподілу матеріалу по камері дроблення. Вивчали вихід дробленого зерна й модуль помелу залежно від зони відбору проб і частоти обертання ротора.

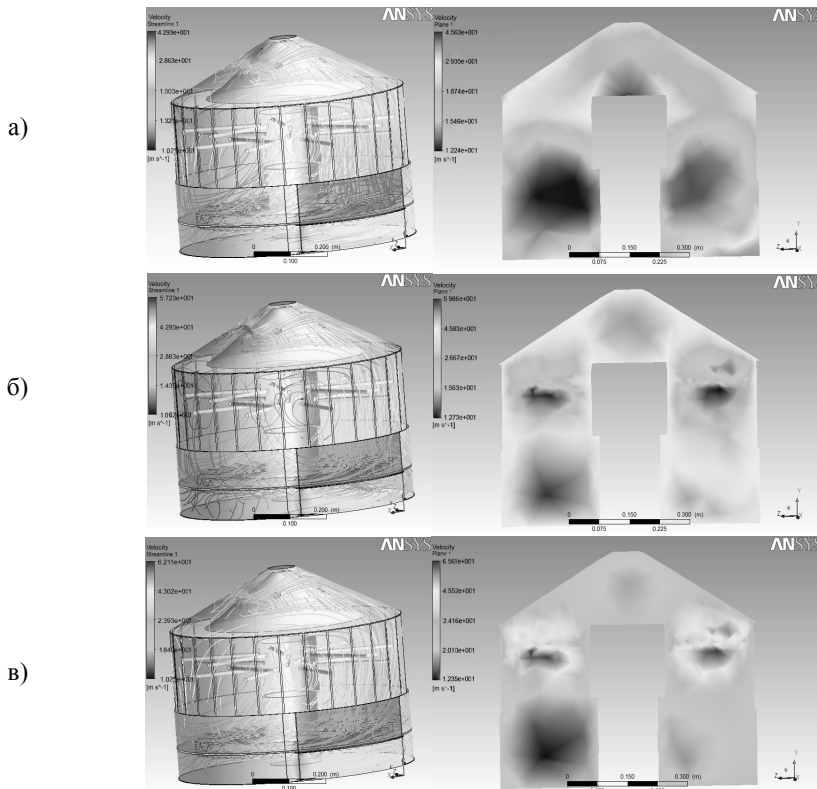


Рис. 4. Лінії і плани швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при різних значеннях частоти обертання ротора: а) $n = 1500$ об/хв; б) $n = 2000$ об/хв; в) $n = 2500$ об/хв

Зони відбору проб були вибрані у таких точках: перша — у верхній частині камери, в зоні дії верхнього ряду робочих органів, друга — у середині камери, третя — у нижній частині камери, у зоні дії нижнього ряду робочих органів і четверта — на виході з нижнього жалюзійного решета.

З аналізу залежностей, наведених на рис. 5, видно, що модуль помелу в зонах відбору проб 1 і 2 — мінімальний і практично не залежить від частоти обертання ротора дробарки. У зонах 3 і 4 відмічене підвищення значень модуля помелу зерна пояснюється більшим скупченням крупних часток, які вимагають додаткового удару для їх подрібнення.

Аналіз наведених у даній статті та у [8] результатів експериментальних досліджень надає можливість зробити висновок, що для одержання якісного продукту (за значенням модуля помелу) в дробарці з вертикальним ротором необхідно

підтримувати частоту обертання ротора у межах від 1800 до 2500 об/хв. Для одержання більш грубого помелу треба знижувати частоту обертання ротора і, навпаки, для дрібного помелу — підвищувати частоту обертання. Ці результати добре корелюють з результатами проведеного комп'ютерного моделювання.

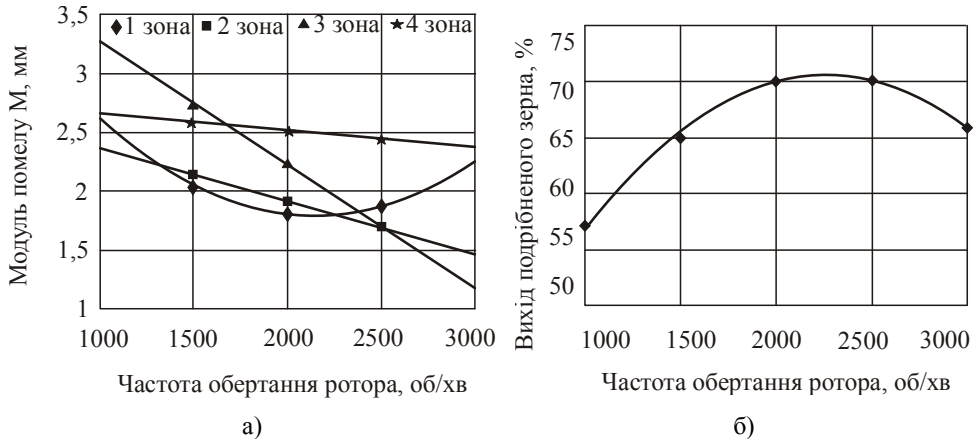


Рис. 5. Залежність модуля помелу від частоти обертання ротора:
а) по зонах відбору проб подрібненого матеріалу; б) вихід дробленого зерна зі значенням модуля помелу $M = 1,4 \dots 2,2$ мм

Висновки

Ефективним пристроєм для подрібнення зернового матеріалу є пальцева роторна дробарка з пристроєм для попередньої сепарації зерна. В результаті моделювання процесу руху зерно-повітряної суміші в камері дробарки визначено, що кількість циркуляційних рухів часток зерна до виходу із зони подрібнення або виведення з дробарки на кожній частині ротора дорівнює 3—8, а швидкості в основних зонах подрібнення (розташування пальців ротора дробарки) мають коливання у межах 18—25 %, що дозволяє стверджувати про рівномірне подрібнення часток і високу енергоефективність процесу подрібнення у таких дробарках.

Результати комп'ютерного моделювання добре корелюють з експериментальними дослідженнями модуля помелу зерна, значення якого становить 1,4...2,2 мм, що повністю відповідає зоотехнічним вимогам.

Література

1. Загорский С.М. Повышение эффективности приготовления кормов за счет совершенствования рабочих органов измельчителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.М. Загорский. — СПб.: Пушкин, 2008. — 20 с.
2. Поярков М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.С. Поярков. — Киров, 2001. — 22 с.
3. Шагдыров И.Б. Обоснование технологического процесса измельчения фуражного зерна в трехступенчатом измельчителе: Монография. — Улан-Удэ: изд-во БГСХА им. В.Р. Филипова, 2006. — 111 с.

4. Шпиганович Т.О. Дробарка прямого удара з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Техніка і технологія АПК. — 2011. — № 12 (27). — С. 7—10.

5. Шпиганович Т.О. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь: ТДАТУ, 2010. — Вип. 10, т. 3. — С. 23—35.

6. Шпиганович Т.О. Перспективні концепції розробки технологічного обладнання зернопереробних виробництв АПК / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь: ТДАТУ, 2010. — Вип. 10, т. 1. — С. 91—98.

7. Ялпачик О.В. Визначення розподілу величини удару часток по поверхні деки дробарки прямого удару з вертикальним ротором / О.В. Ялпачик, К.О. Самойчук, О.В. Гвоздев // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. — Львів, 2011. — № 15. — С. 165—173.

8. Ялпачик О.В. Експериментальні дослідження дробарки зерна прямого удару з вертикальним ротором / О.В. Ялпачик, О.В. Гвоздев, К.О. Самойчук // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2011. — Вип. 40, т. 1. — С. 218—222.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ПАЛЬЦЕВОЙ ЗЕРНОВОЙ ДРОБИЛКИ

О.В. Ялпачик, К.О. Самойчук, С.Ф. Буденко

Таврический государственный агротехнологический университет

В результате анализа существующих средств дробления зернового материала выделены молотковые дробилки, рассмотрены конструктивные схемы и отмечены их основные недостатки. Перспективной признана схема с предварительной сепарацией зерна и измельчением каждой фракции на отдельных частях ротора дробилки. Разработан способ и описано устройство измельчения зерна прямым ударом рабочих органов в виде металлических пальцев ротора с вертикальной осью вращения с предварительной сепарацией зернового материала. С целью установления рациональных соотношений конструктивных параметров дробилки, которая разрабатывается, было проведено моделирование процесса измельчения зерна с использованием программных комплексов ANSYS и SolidWorks. Получены поля распределения скоростей и линий движения зерновых частей по объему дробилки, которые свидетельствуют об узком диапазоне распределения скоростей в зоне измельчения и уменьшенном количестве циркуляционных движений в сравнении с другими типами молотковых дробилок. Приведенные экспериментальные данные модуля помола зерна хорошо коррелируют с результатами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: *измельчение зерна, пальцевая дробилка прямого удара, моделирование, частота вращения, скорость.*