

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.363.21

В.В. Садов, С.А. Сорокин
V.V. Sadov, S.A. Sorokin

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

INCREASING THE GRINDING EFFICIENCY OF GRAIN COMPONENTS BY OPTIMAL LOADING OF THE HAMMER CRUSHER

Ключевые слова: *измельчение зерновых компонентов, молотковая дробилка, питатель, гранулометрический состав, энергоёмкость процесса.*

Одним из основных процессов при приготовлении комбикормов является измельчение. Это наиболее энергозатратный процесс, в значительной степени определяющий качество готового продукта. Дробилки с горизонтальным валом имеют большее энергопотребление и значительный процент переизмельчения. Поэтому основной упор необходимо делать на конструкции с вертикальным валом. Повышение эффективности молотковой дробилки возможно за счет точной подачи материала в камеру измельчения. Вертикальная загрузка дробилок самотеком не дает возможности стабильно и регулируемо загрузить измельчающую машину. Это возможно обеспечить простым устройством – шнековым питателем. Одновременно питатель в бункере выполняет роль ворошителя, не давая зависать материалу. При остановке его происходит самозапирание зерна, и под действием лишь силы тяжести зерно не просыпается из бункера в дробилку. Вал шнека соединен с валом шагового дви-

гателя и управляется программным кодом. Такое управление дает широкие возможности регулирования величиной и точностью подачи шнекового питателя. С увеличением подачи возрастает доля крупной фракции, в том числе целых зерен, и при этом снижается доля мелкой фракции. Эта часть зерна, выходящая вместе с дертью, состоит преимущественно из щуплых зерен, пустых оболочек и семян сорных растений. Этим способом добиваемся снижения многократного воздействия на зерновой материал и переизмельчение. В этом случае решение проблемы видится в разделении зерна на фракции после дробилки и многостадийном измельчении крупных частиц, т.е. возврат их в дробилку.

Keywords: *grinding of grain components, hammer crusher, feeder, particle-size distribution, energy consumption of the process.*

One of the main processes in the preparation of compound feed is grinding. This is the most energy-consuming process and largely determines the quality of the finished product. Horizontal shaft crushers have

more energy consumption and a significant over-grinding rate. Therefore, the main emphasis should be placed on the design with a vertical shaft. The efficiency of the hammer crusher can be improved by precisely feeding the material into the grinding chamber. Vertical feeding of crushers by gravity does not make it possible to feed the crushing machine stably and in a controlled manner. This can be achieved with a simple device - a screw feeder. At the same time, the feeder in the hopper acts as a stirrer, preventing the material from hanging. When it stops, the grain is self-locking and under the influence of gravity alone, the grain does not spill out of the hopper into the crusher. The screw shaft is connect-

ed to the stepper motor shaft and is controlled by a program code. This control provides a wide range of possibilities for controlling the size and accuracy of the screw feeder feed. As the feed increases, the proportion of the coarse fraction, including whole grains, increases, while the proportion of the fine fraction decreases. This part of the grain, which comes out with the chaff, consists mainly of shrunken grains, glumes and weed seeds. In this way, we achieve a reduction in repeated impact on grain material and over-grinding. In this case, the solution to the problem is to separate the grain into fractions after the crusher and grind large particles several times, i.e. return them back to the crusher.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Сорокин Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sorokin_sg@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Head, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Sorokin Sergey Anatolyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sorokin_sg@mail.ru.

Введение

В сельскохозяйственном производстве при измельчении зерновых компонентов наибольшее распространение получили молотковые дробилки с горизонтальным валом [1]. Они имеют простоту конструкции, легкость в обслуживании и регулировки. Однако не всегда получаемый продукт соответствует зоотехническим требованиям, в частности по степени измельчения. Этому способствуют многие причины: направление подачи материала, равномерность подачи, скорость подачи, особенность конструкции, когда целые зерна смешиваются с измельченными, и нет возможности выводить вторые из камеры за счет создания сопротивления у решета целыми зернами. Эти факторы приводят к переизмельчению зерна и повышенному расходу электроэнергии.

Цель исследования – повышение качества продуктов измельчения за счет оптимальной загрузки молотковой дробилки.

Объекты и методы исследований

В качестве альтернативы молотковой дробилке с горизонтальным валом предложена молотковая дробилка с вертикальным валом [2, 3]. Она позволяет решить проблемы, связанные с переизмельчением материала. Энергоемкость

процесса у данных конструкций также ниже. Кроме того, такая конструкция позволяет снизить вибрацию за счет отклонения от радиального положения противоположных молотков [4].

При исследовании молотковой дробилки основными исследуемыми факторами являются производительность, степень измельчения и потребляемая мощность. При этом эти факторы взаимосвязаны [5].

Подачу в дробилку можно производить дозатором или самотеком. Если в первом случае при подаче нивелируются погрешности от свойств материала, конструкций бункера и др., во втором случае материал подается неравномерно по вышеуказанным причинам.

Для экспериментальных исследований молотковая дробилка спроектирована таким образом, чтобы можно было устанавливать различные рабочие органы и создать различные режимы работы. В данном случае использовались традиционные молотки, расположенные на осях. Выглядит она следующим образом (рис. 1).

Для рациональной загрузки электродвигателя дробилку нужно рассматривать при работе на двух режимах: пуск и измельчение. Пуск дробилки производится вхолостую, без материала, и поэтому весь момент используется для разгона маховых масс, т.е. ротора. Для рационально-

го использования электроэнергии и потенциальных возможностей дробилки при режиме измельчения нужно работать на подачах материала, загружающих электродвигатель до номинального значения. При неполной загрузке коэффициент полезного действия для различных двигателей от 0,4 до 0,70, работа на таких режимах малоэффективна [6].

Вертикальная загрузка дробилок, так называемый самотек, не дает возможности стабильно и регулируемо загрузить измельчающую машину. Причин этого несколько. Зерновой материал в бункере неоднороден, в связи с изменяющимися их физико-механическими свойствами. Это приводит к образованию сводов, которые периодически разрушаются, подавая в

загрузочную горловину больше или меньше материала. Добавим к этому турбулентные потоки воздуха в камере измельчения. В зависимости от конструкций дробилок они различны, и воздушный поток может засасывать зерно или создавать его подпор. Вакуумирующей силы для нужной подачи может быть недостаточно.

Существуют измельчители, у которых при полностью открытой заслонке зерно с трудом просыпается внутрь. Решая эту задачу, изменяя конструкцию ротора и выпускного окна, делая ее похожую на воздушный центробежный насос, неизбежно тратим много энергии на создание направленного воздушного потока, отнимая ее от главного процесса дробилки – разрушения материала.

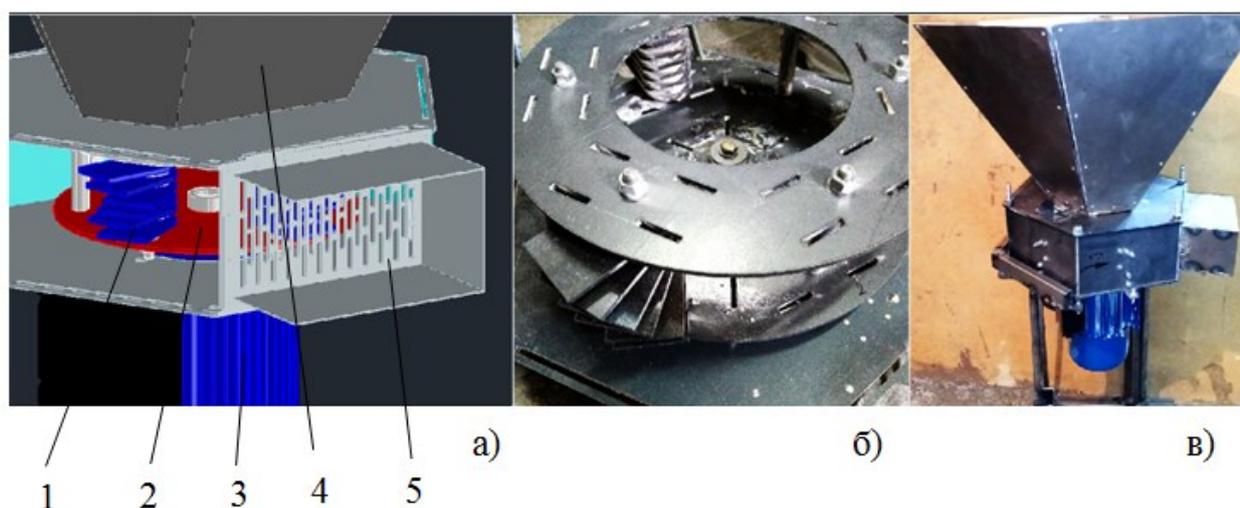


Рис. 1. Молотковая дробилка:
 а – 3D модель камеры измельчения, б – ротор дробилки, в – общий вид дробилки;
 1 – молотки, 2 – ротор, 3 – электродвигатель, 4 – бункер, 5 – выгрузное окно

Таблица 1

Техническая характеристика дробилки

| | |
|---|--------------|
| Диаметр ротора, мм | 420 |
| Количество молотков, шт. | 15 |
| Объем бункера, л | 60 |
| Диапазон подач, кг/час | 15 -550 |
| Мощность двигателя, кВт | 2,2 |
| Частота вращения ротора, об/мин. | 3000 |
| Габаритные размеры, не более, мм, Д×Ш×В | 650×720×1500 |
| Масса, не более, кг | 38 |

Выход из такой ситуации видим в установке на дробилку шнекового питателя, способного подавать зерновой материал в камеру измельчения независимо от воздушных потоков и давления зерна в бункере. Одновременно питатель в бункере выполняет роль ворошителя, не давая зависать материалу. При остановке питателя происходит самозапираание зерна и под действием лишь силы тяжести зерно не просыпается из бункера в дробилку. При этом необходимо правильно обосновать подъем винтовой линии для предотвращения самовысыпания.

Разработанный шнековый питатель представляет из себя вертикальный шнек, расположенный в корпусе с боковым загрузочным окном. Для привода используется шаговый электродвигатель, управляемый при помощи ЭВМ.

Питатель шнековый состоит из корпуса 1, верхней опоры 2, которая является креплением двигателя, крышки 3 и нижней опоры 4 и шнека 5 (рис. 2).

Вал шнека жестко соединен муфтой с валом шагового двигателя семейства Nema 17, управляется который генерацией G-кода в среде программирования Ардуино. Управляющий сигнал с компьютера идет на плату Arduino-Mega-2560, далее сгенерированный сигнал управляет скоростью и/или периодическим движением и остановками вала шагового двигателя. Такое управление дает широкие возможности регулирования величиной и точностью подачи шнекового питателя.

Для управления работой шнекового питателя составлена программа (скетч), которая представляет из себя набор инструкций (рис. 3).

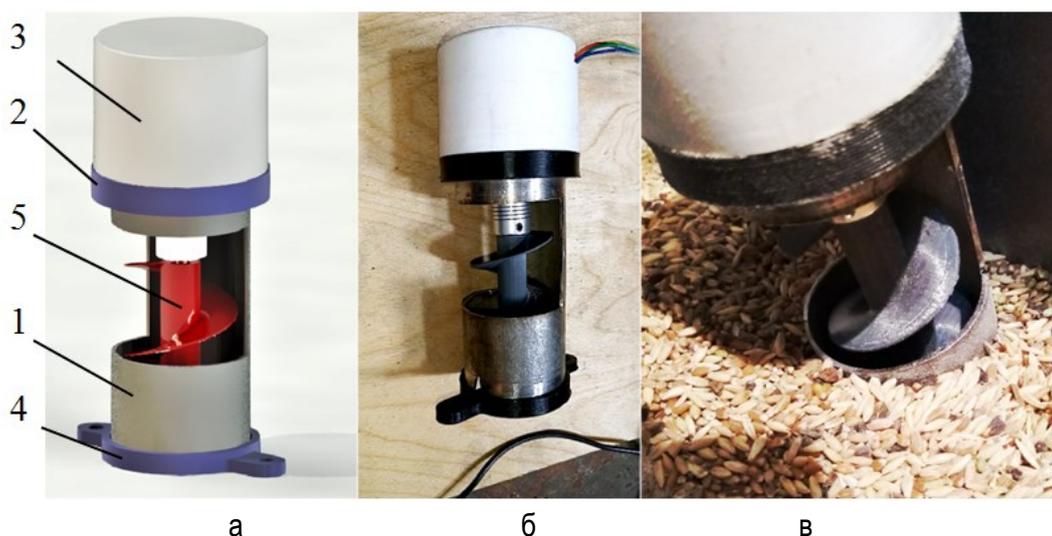


Рис. 2. Шнек-питатель:
а – 3D модель; б – шнек-питатель в сборе; в – в рабочем положении

Таблица 2

Техническая характеристика питателя

| | |
|---|----------------|
| Диаметр трубы питателя, мм | 50 |
| Шаг витков шнека, мм | 32 |
| Длина шнека, мм | 80 |
| Изменение подачи | бесступенчатое |
| Диапазон подач, кг/ч | 15 -550 |
| Шаговый двигатель | Nema 17 |
| Частота вращения шнека, об/мин. | до 300 |
| Крутящий момент, Н·см | 2,2 |
| Мощность электродвигателя, Вт | 5,4 |
| Габаритные размеры, не более, мм, Д×Ш×В | 70x60x150 |
| Масса, не более, кг | 0,45 |

```

#define dir_x 55
#define step_x 54
#define step_round 3200
int RPM = 1.1; //обороты в секунду, тогда от 1 до 5. от 60 до 300 об в минуту
int sp = 0;

void setup() {
  pinMode(dir_x, OUTPUT);
  pinMode(step_x, OUTPUT);
  sp = (1000000 / (step_round*2)) / RPM;
}

void loop() {
  moving(step_x, dir_x, sp, 1); //функция для запуска двигателя с регулировкой скорости
  //принимает как аргумент 4 значения: step_pin, dir_pin, скорость(переменная sp) и направление вращения(1, 0)
  // moving_delay(step_x, dir_x, sp, 1, 3200, 1000); //функция запуска двигателя с прерыванием
  //step_pin, dir_pin, скорость(переменная sp), направление вращения(1, 0), количество шагов шт, задержка миллисек

  // static uint32_t tmr2;
  // if (millis() - tmr2 > 50) {
  //   tmr2 = millis();
  //   RPM = map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 7);
  //   SPEED = 156 / RPM;
  // }
  
```

Рис. 3. Скетч управления работой двигателя

Результаты исследования

Полученные результаты по энергоемкости процесса и степени измельчения позволяют определить оптимальные режимы работы дробилки.

С увеличением подачи возрастает доля крупной фракции, в том числе целых зерен, при этом снижается доля мелкой фракции. Это объясняется увеличением объема зерновой смеси

внутри дробилки, которая не успевает подвергаться ударному воздействию молотков и быстрому измельчению. Эта часть зерна, выходящая вместе с дертью, состоит преимущественно из щуплых зерен, пустых оболочек и семян сорных растений. В этом случае решение проблемы видится в разделении зерна на фракции после дробилки и многостадийном измельчении крупных частиц, т.е. возврат их в дробилку [7].

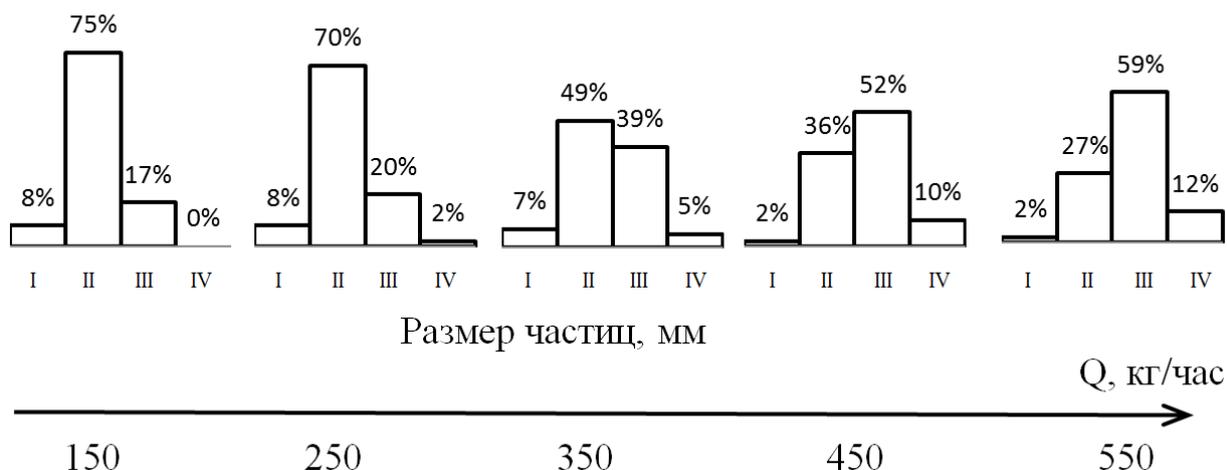


Рис. 4. Гистограмма распределения размеров дерти в зависимости от производительности дробилки:

I – размер частиц 0,8-1 мм; II – размер частиц 1-1,8 мм; III – размер частиц 1,8-2,6 мм; IV – целые зерна

Полезная энергия на образование единицы новой поверхности [1]:

$$A = \frac{P_D - P_{XX}}{Q \cdot \Delta S}, \quad (1)$$

где A – удельный расход энергии, Дж/м²;

P_D – потребленная дробилкой электроэнергия при дроблении зерна, кВт;
 $P_D = 1,311$ кВт;

P_{XX} – мощность холостого хода дробилки, кВт; $P_{XX} = 1,021$ кВт;

Q – производительность дробилки, кг/с;

ΔS – приращение удельной площади поверхности, м²/кг; для помола со средневзвешенным размером частиц в 1 мм $\Delta S = 3,3$ м²/кг [1].

$$Q = \frac{G}{t}, \quad (2)$$

где G – масса измельченного за время опыта зерна, кг; $G = 6,7$ кг;

t – продолжительность опыта, с $t = 45$ с.

Тогда производительность дробилки:

$$Q = 0,1488 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,536 \text{ т/ч};$$

удельный расход энергии

$$A = \frac{1,311 - 1,021}{0,1488 \cdot 3,3} = 0,59 \text{ кДж/м}^2;$$

полный расход энергии

$$A_{\text{п}} = \frac{P_D}{Q} = \frac{1,311}{0,536} = 2,45 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

Эти значения получены для максимальной подачи питателя. Мощность определяли, измеряя напряжение и силу тока, питающую электродвигатель. Электродвигатель привода ротора однофазный, поэтому мощность допускается взять равной вольт-амперной характеристике. Напряжение – 230 В; сила тока на холостом ходу – 4,7 А, при нагрузке – 5,8-5,9 А.

Выводы

1. Использование шнекового питателя с беступенчатым регулированием оборотов позволяет с высокой точностью обеспечить требуемую подачу материала в дробилку.

2. С ростом подачи, ведущей к увеличению энергопотребления измельчающей машины, происходит уменьшение переизмельченного материала. При этом производительность вырастает в три раза, со 150 кг/ч, где нет целых зерен на выходе, до 550 кг/ч с процентом целых зерен 10-12%, при этом энергоемкость составила 2,5 кВт·ч/т.

3. Для удаления целых зерен из готового продукта возможно применение многостадийного измельчения.

Библиографический список

1. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Ленинград: Колос, 1978. – 560 с. – Текст: непосредственный.
2. Федоренко, И. Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов / И. Я. Федоренко. – Москва: Форум, 2015. – 176 с. – Текст: непосредственный.
3. Желтунов, М. Г. Дробилки с вертикальными валами для измельчения концентрированных кормов / М. Г. Желтунов, В. А. Садовая. – Текст: непосредственный // Сельхозтехника, сельхозпереработка. – 2005. – № 1. – С. 12-13.
4. Федоренко, И. Я. Динамика молотковой дробилки с вертикальной осью вращения ротора / И. Я. Федоренко, В. В. Мозговых // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 11 (61). – С. 69-75.
5. Техника и технологии в животноводстве. Часть 1. Механизация приготовления и раздачи кормов: учебное пособие / И. Я. Федоренко, В. В. Садов. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2014. – 207 с. – Текст: непосредственный.
6. Беляевский, Р. В. Анализ влияния коэффициента загрузки асинхронных двигателей на потребление реактивной мощности / Р. В. Беляевский. – Текст: непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 6 (142). – С. 66-69.
7. Федоренко, И. Я. Теоретические основы оптимизации гранулометрического состава дерти, образуемой при измельчении фуражного

зерна / И. Я. Федоренко, В. В. Садов, И. Б. Шагдыров. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/2. – С. 299-233.

References

1. Mel'nikov, S. V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskih ferm / S. V. Mel'nikov. – Leningrad: Kolos, 1978. – 560 s. – Tekst: neposredstvennyj.

2. Fedorenko, I. Ya. Tekhnologicheskie processy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov / I. Ya. Fedorenko. – Moskva: Forum, 2015. – 176 s. – Tekst: neposredstvennyj.

3. Zheltunov, M. G. Drobilki s vertikal'nymi valami dlya izmel'cheniya koncentrirovannykh kormov / M. G. Zheltunov, V. A. Sadovaya. – Tekst: neposredstvennyj // Sel'hoztekhnika, sel'hozpererabotka. – 2005. – № 1. – S. 12-13.

4. Fedorenko, I. Ya. Dinamika molotkovoj drobilki s vertikal'noj os'yu vrashcheniya rotora /

I. Ya. Fedorenko, V. V. Mozgovyh // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – № 11 (61). – S. 69-75.

5. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. Chast' 1. Mekhanizatsiya prigotovleniya i razdachi kormov: uchebnoe posobie / I. Ya. Fedorenko, V. V. Sadov. – Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 2014. – 207 s. – Tekst: neposredstvennyj.

6. Belyaevskij, R. V. Analiz vliyaniya koefitsienta zagruzki asinhronnykh dvigatelej na potreblenie reaktivnoj moshchnosti / R. V. Belyaevskij. – Tekst: neposredstvennyj // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2010. – № 6 (142). – S. 66-69.

7. Fedorenko, I. Ya. Teoreticheskie osnovy optimizatsii granulometricheskogo sostava derti, obrazuemoj pri izmel'chenii furazhnogo zerna / I. Ya. Fedorenko, V. V. Sadov, I. B. Shagdyrov. – Tekst: neposredstvennyj // Polzunovskij vestnik. – 2012. – № 2/2. – S. 299-233.



УДК 631.362

Н.И. Стрикунов, А.П. Ломакин, С.В. Леканов
N.I. Strikunov, A.P. Lomakin, S.V. Lekanov

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АО «МЕЛЬИНВЕСТ»

WAYS TO IMPROVE EFFICIENCY OF POST-HARVEST SEED TREATMENT WITH MACHINES AND EQUIPMENT MANUFACTURED BY AO «MELINVEST»

Ключевые слова: пневмосортировальный стол, триерный блок, концентратор, скальператор, технологическая линия, аспиратор, агент сушки, зерносушилка, предварительная очистка.

Послеуборочная обработка является важным звеном процесса производства зерна и решает две взаимосвязанные основные задачи: сохранение и доведение его до реализационных кондиций путем применения технологических операций очистки и сушки. Поэтому необходимо изыскивать пути повышения эффективности выполнения этих технологических операций, особенно при подготовке семян. Эта задача может быть решена за счет применения

в технологических линиях мехтоков современных зерноочистительных машин, обладающих широкими технологическими возможностями. В работе представлен один из вариантов технологии послеуборочной обработки зерна и семян с применением машин и оборудования производства АО «Мельинвест». Предложены технологическая схема работы комплекса и структурная схема движения основного потока зернового материала в зависимости от вариантов его обработки. Показаны пути повышения эффективности послеуборочной обработки зерна и основные преимущества предложенной технологической линии.