

Wpłynęło 19.08.2019 r.
Zrecenzowano 14.09.2019 r.
Zaakceptowano 22.09.2019 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВЫХ КОРМОВ ПЛЮЩЕНИЕМ

**Petr A. SAVINYKH¹⁾ ABCDEF, Vladimir KAZAKOV¹⁾ ABCDEF,
Kinga BOREK²⁾ ABCDEF**

¹⁾ Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye nauchnoye uchrezhdeniye „Federal'nyy agrarnyy nauchnyy tsentr Severo-Vostoka imeni N.V. Rudnitskogo”, Kirov, Rossiya

²⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział Warszawa, Polska

Резюме

Проведён анализ состояния послеуборочной обработки зерна и производства кормов для нужд животноводства в сельхозпредприятиях Кировской области (РФ), который показал высокую эффективность применения в рационах животных зернового корма – плющеного зерна, сухого и влажного. Разработана фракционная технология плющения влажного фуражного зерна на пунктах послеуборочной обработки зерна, проведён расчёт эффективности её применения вместо традиционной технологии послеуборочной сушки, сортирования и дробления фуражного зерна, который показал, что годовой эффект от применения новой фракционной технологии составляет 2 059 840 рублей. Для технологий плющения зерна разработана конструктивно-технологическая схема двухступенчатой плющилки зерна, проведены теоретические исследования её рабочего процесса, которые позволили определить рациональные конструктивные параметры криволинейной направляющей пластины и взаиморасположение вальцов для плющения. Согласно разработанной схемы изготовлена плющилка зерна ПЗД-3, проведены её предварительные испытания, которые показали соответствие заявляемых параметров предъявляемым требованиям. По результатам испытаний Федерального государственного учреждения Кировская МИС рекомендовала продолжить испытания двухступенчатой плющилки зерна ПЗД-3 после устранения выявленных недостатков. Фракционная технология плющения фуражного зерна и двухступенчатая плющилка зерна ПЗД-3 в составе этой технологии применены при реконструкции зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш. Применение данной технологии обработки и переработки зерна существенно сокращает энергозатраты на сушку (фуражная фракция зерна не сушится, а используется на корм животным в плющеном виде), повышается производительность комплекса пропорционально выделенной фуражной фракции.

Ключевые слова: зерно, зоотехнические требования, конструктивные параметры, плющение, технология производства зерновых кормов, фуражное зерно

Do cytowania For citation: Savinykh P.A., Kazakov V., Borek K. 2019. Tekhnologii proizvodstva zernovykh kormov plyushcheniyem. Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie. T. 19. Z. 3 (67) s. 45–62.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы роста, развития и нормального функционирования всех систем организма животного сопровождаются определенными затратами энергии и питательных веществ, источником которых являются корма. Эффективность кормления обуславливается соответствием физико-механических свойств и содержания питательных веществ в используемом корме потребностям животных. Используемые технологии приготовления кормов животных должны обеспечивать получение готового продукта, отвечающего зоотехническим требованиям соответствующих стандартов, с минимально возможными затратами на производство корма [AKSENOV 2011; LACHUGA (red.) 2006; ODEGOV 2000; PEREKOPSKIY и др. 2006].

Одним из перспективных путей повышений кормовой ценности зернофуража, сухого или влажного, является его технологическая обработка плющением. Использование технологий плющения фуражного зерна для получения готового к скармливанию продукта позволяет не только сохранить, но и повысить (справедливо для влажного и высоковлажного зерна) питательность корма, увеличить его перевариваемость и усвояемость при скармливании. Кроме того, применение переработки влажного фуражного зерна плющением исключает из списка послеуборочных технологических операций сушку, что снижает энергозатраты на процесс обработки зерна и подготовки его к скармливанию. Использование влажного плющеного зерна по сравнению с сухим зерном для получения корма позволяет получить с каждого гектара урожай зерна на 0,5...1 т больше за счет снижения потерь зерна от осыпания и лучшей усваиваемости. Как показывают экономические расчеты, а также опыт производства плющеного зерна сельхозпредприятиями, наибольший экономический эффект достигается при переработке влажного фуражного зерна за счет того, что при плющении исключаются главные затраты общепринятой технологии – на топливо при сушке влажного зернового материала (до 25 л·т⁻¹ дизельного топлива), а также на капитальные вложения при послеуборочной обработке зерна на очистительно-сушильных комплексах. Существенно влияют на себестоимость корма затраты на консервант (повышают себестоимость) при химическом консервировании влажного плющеного зерна, а также энергозатраты на плющение, которые существенно ниже, чем при дроблении (8 кВт·т⁻¹ против 20).

Для технологии плющения и консервирования зернового материала в поле производятся мобильные двухвальцовые плющилки зерна с приводом от ВОМ трактора, которые в зависимости от назначения конечного продукта комплектуются различными устройствами, например, консервирования влажного зернового материала, смесителями, упаковщиками плющеного зерна в полиэтиленовые рукава и др. Основные производители выпускают мобильные машины для плющения зерновых с высоким содержанием влаги –

Viper, Bugger, Combi, передвижные вальцовые плющилки влажного зерна с прессом CP1 и CP 2 пропускной способностью от 8 до 40 т·ч⁻¹, плющилки типа M1 и M2 пропускной способностью 8...40 т·ч⁻¹ чешского производства предложены для использования в месте силосования [www.agroservice.by; www.raston.ru/catalog].

По своей технической сущности и устройству практически все вышеуказанные плющилки зерна аналогичны и имеют один общий недостаток – недостаточное качество готового продукта (плющеного корма) вследствие высокого содержания в нем мучки (дроблёного зерна) (по ТУ 8-22-39–88 „Хлопья ячменные и перловые” предельно допустимое её содержание для ячменных хлопьев 6% и перловых 8%).

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технологическая схема переработки зернового вороха (фуражного зерна), сухого и влажного, в плющеное консервированное зерно в общем виде представлена на рисунке 1.

Эффективность производства плющеного зерна (например, по технологии: машина предварительной очистки зерна МПО-30 ДФ + оборудование → плющение → консервирование → склад) определяется сравнением затрат на его производство с затратами на производство концентрированного корма

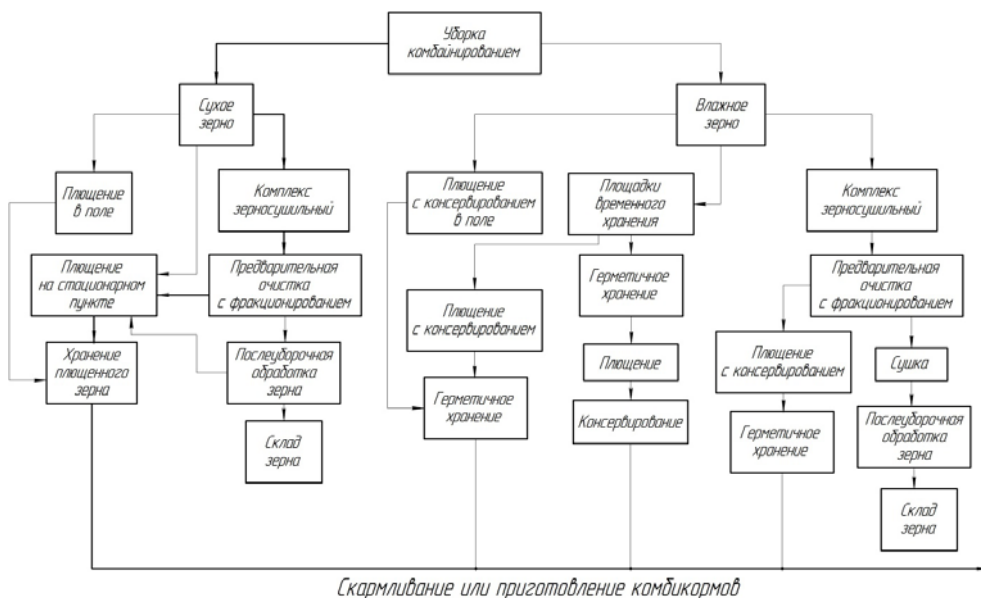


Рис. 1. Технологии переработки фуражного зерна плющением; источник: собственное исследование

(дробленого зерна) по общепринятой технологии (например: комплекс зерно-сушильный КЗС-20У → склад → дробилка зерна ДМ-Ф4).

В настоящее время переработка влажного зернового материала для получения плющеного консервированного зерна проводится по двум основным технологиям, разработанным в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»: плющение и консервирование зернового материала в поле (технология 1) и плющение и консервирование на стационарном пункте (технология 2).

Схему технологии 1 в общем виде можно представить следующим образом: *обмолот зернового вороха → плющение влажного зерна и внесение консерванта в поле → транспортировка к месту закладки на хранение → герметичное хранение.*

Преимущество данной технологической схемы заключается в сокращении числа погрузочно-разгрузочных операций и в уменьшении промежутка времени между обмолотом зерна и последующим его плющением и консервированием, что позволяет максимально сохранить полезные качества влажного и высоковлажного зернового материала. К недостаткам можно отнести испарение консерванта во время транспортировки корма к месту хранения, а также то, что зерновой материал перерабатывается без предварительной очистки.

Технология 2 схематично представляется в следующем виде: *обмолот зернового вороха → транспортировка на стационарный пункт → плющение влажного зерна и внесение консерванта на стационарном пункте → герметичное хранение.*

Стационарный пункт включает в себя приемный бункер с механизированной разгрузкой, плющилку зерна с устройством для внесения консерванта, а также возможна установка устройства предварительной очистки поступающего с поля зернового вороха при высокой его засоренности. Рассматриваемая технология позволяет получать высокую производительность переработки зернового материала при хорошем качестве конечного продукта – плющеного консервированного корма. Недостатком данной схемы является то, что зерновой материал поступает на переработку без выделения из него полноценного зерна, необходимого для получения, например, семенного материала.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» разработана конструктивно-технологическая схема фракционной технологии переработки зернового вороха с выделением фуражной фракции на

стадии предварительной очистки с последующим её плющением и консервированием (рис. 2) [SAVINYKH и др. 2018], сущность которой заключается в следующем.

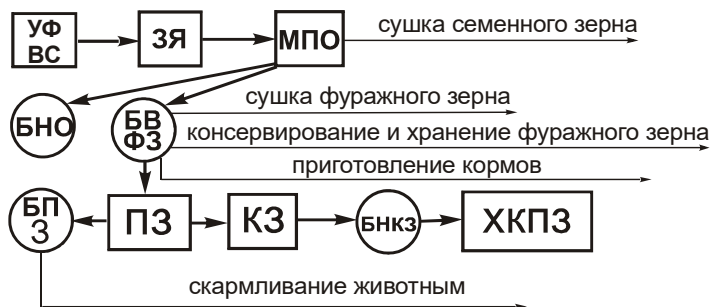


Рис. 2. Технология переработки влажного фуражного зерна (по патенту RU №2371262):

УФВС = уборка зерновых культур в фазе восковой спелости (один из вариантов);

ЗЯ = завальная яма или аэрожелоб; МПО = машина предварительной очистки с фракционированием; БНО = бункер неиспользованных отходов; БВФЗ = бункер влажного фуражного зерна; ПЗ = плющилка зерна; БПЗ = бункер-накопитель плющеного зерна; КЗ = устройство консервирования плющеного зерна; БНКЗ = бункер-накопитель плющеного консервированного зерна; ХКПЗ = хранилище консервированного зерна;
источник: собственное исследование

Зерновой ворох, поступивший после обмолота (УФВС) на очистительно-зерносушильный комплекс, из завальной ямы (ЗЯ) или аэрожелоба, подается в машину предварительной очистки (МПО) с выделением фуражной фракции, где очищается от примесей дважды воздушным потоком и на решетных станах, а также разделяется на основную (60...70%), фуражную фракции (25...35%) и отходы (5%). Основная фракция – полноценное зерно – по зернопроводам подается в бункер резерва влажного зерна, дальнейшая обработка которого проводится по существующим технологиям сушки и сортирования, выделенное и очищенное машиной предварительной очистки фуражное зерно из бункера (БВФЗ) зернопроводами подается на двухступенчатое плющение (ПЗ) и консервирование (КЗ), отходы поступают в бункер неиспользуемых отходов (БНО), откуда утилизируются. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения приведенных затрат предлагаемой технологии в сравнении с общепринятой составляет 2 059 840 руб. Экономический эффект получен за счет фракционирования зернового вороха на стадии предварительной очистки: выделенная фуражная фракция (25...35%) от общего объема зернового вороха) не обрабатывается традиционными способами на пунктах послеуборочной обработки зерна, а подается на плющение и консервирование.

Для выполнения технологических операций плющения и консервирования зернового материала разработаны и производятся устройства для их

осуществления – плющилки зерна (рис. 3), область применения которых определяется особенностями конструкции.

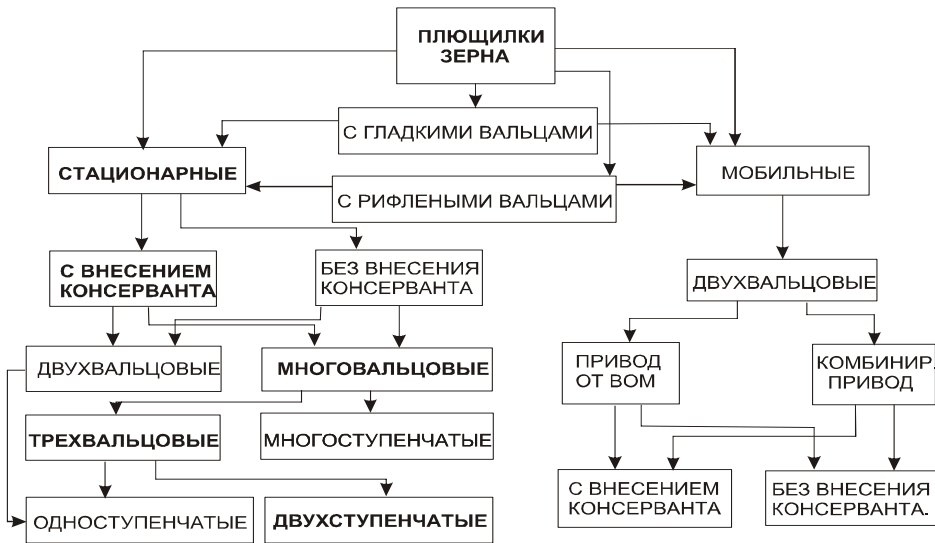


Рис. 3. Устройства для плющения и консервирования – плющилки зерна; источник: собственное исследование

Снизить энергопотребление и улучшить качество консервирования влажного плющеного зерна предназначена двухступенчатая плющилка с устройством консервирования влажного зерна ПЗД-3, разработанная в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» [SAVINYKH и др. 2018]. Конструктивно-технологическая схема данной машины представлена на рисунке 4а.

Проведены теоретические исследования рабочего процесса двухступенчатого плющения зерна. Задачей данного этапа теоретических исследований является усовершенствование технологического процесса плющения фуражного зерна двухступенчатой плющилки зерна с тремя вальцами для плющения, теоретическое изучение процесса движения зерновки в плющилке для определения оптимальной величины скорости её ввода в рабочую зону второй ступени плющения, при которой достигается максимальная производительность плющилки зерна.

Ранее исследован процесс движения зерновки и определена её скорость в рабочей зоне первой ступени, по которой установлено наименьшее время прохождения зерновкой рабочей зоны первой ступени плющения BC (рис. 5), которое обеспечивает максимальную пропускную способность и, как следствие, производительность плющилки:

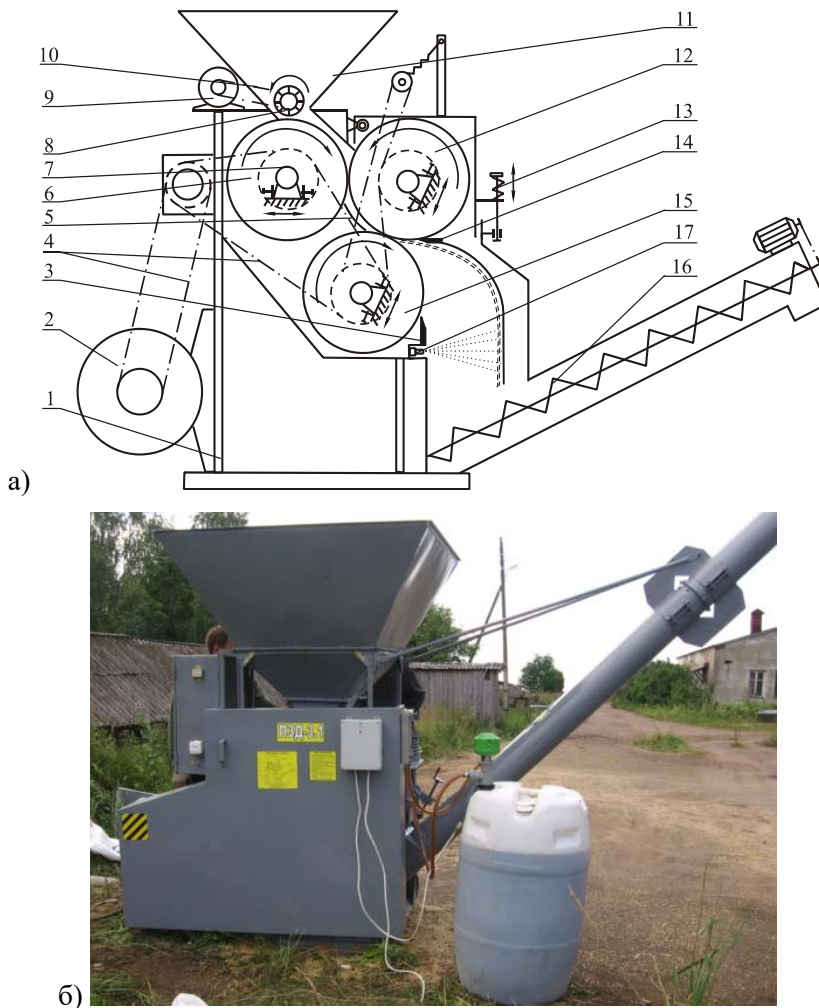


Рис. 4. Плющилка зерна ПЗД-3: а) конструктивно-технологическая схема, б) общий вид; 1 = рама; 2 = электродвигатель; 3 = очищающий нож; 4 = цепная передача; 5 = очищающий нож-направитель криволинейной формы; 6 = основной валец; 7 = регулируемая опора; 8 = питающее устройство; 9 = электродвигатель; 10 = цепная передача; 11 = питательный бункер; 12 = боковой валец; 13 = защитное устройство; 14 = очищающий нож; 15 = нижний валец; 16 = выгрузной транспортер; 17 = форсунка; источник: собственное исследование

$$V_{0,1} = V_{\max 1} = \omega R \quad (1)$$

где: $V_{0,1}$ = скорость зерновки в точке B в момент захвата её вальцами 7 и 8 на плющение; $V_{\max 1}$ = максимально достигнутая зерновкой скорость при её плющении в точке C ; ω = угловая скорость вальцов для плющения; R = радиус данных вальцов.

После прохождения первой ступени плющения зерновка попадает на криволинейную пластину (точка D , рис. 5) и начинает движение по ней с начальной скоростью $V_0 = \omega R$ (участок DK). В т. K происходит захват вальцами 7 и 9 зерновки для осуществления второй ступени плющения.

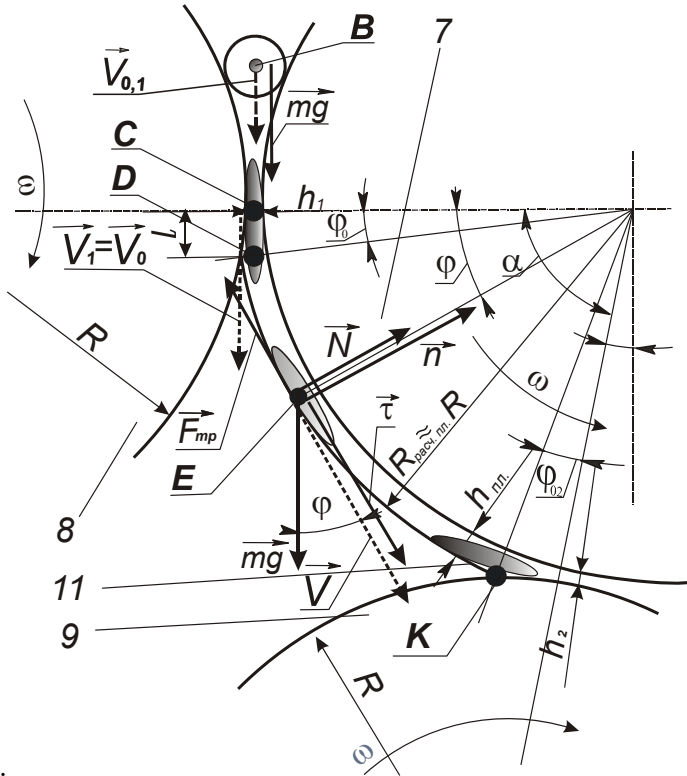


Рис. 5. Движение зерновки по криволинейной пластине двухступенчатой плющилки зерна; источник: собственное исследование

Очевидно, что наибольшая пропускная способность второй ступени плющения, определяющая производительность всей плющилки, будет обеспечена при подводе зерновок в точку K со скоростью, максимально приближенной к $V = \omega R$. При движении зерновки массой m по криволинейной пластине радиусом R со скоростью V на неё действует сила тяжести \overline{mg} , сила трения \vec{F}_{mp} , нормальная реакция \vec{N} (рис. 2).

Уравнение движения зерновки в общем виде будет иметь вид:

$$\overline{m\vec{W}} = \overline{mg} + \vec{F}_{mp} + \vec{N} \quad (2)$$

Дифференциальные уравнения движения частицы в проекции на касательную $\vec{\tau}$ и нормаль \vec{n} запишем в виде:

$$\begin{cases} \vec{\tau}: m \frac{dV}{dt} = mg \cos \varphi - F_{mp} \\ \vec{n}: m \frac{V^2}{R} = N - mg \sin \varphi \end{cases} \quad (3)$$

Для нахождения скорости движения V частицы плющеного зерна необходимо решить эту систему уравнений.

С учётом того, что сила трения \vec{F}_{mp} определяется как:

$$F_{mp} = Nf \quad (4)$$

где f коэффициент трения зерновки о материал пластины:

$$N = \frac{mV^2}{R} + mg \sin \varphi \quad (5)$$

$$\frac{dV}{dt} = g \cos \varphi - \frac{N}{m} f \quad (6)$$

где φ угол, характеризующий положение зерновки на криволинейной пластине, $\varphi \frac{\sigma}{R}$, а σ длина дуги траектории.

$$R \frac{d\varphi}{d\sigma} \frac{dV}{dt} = R \cos \varphi - R \frac{V^2}{R} f - Rgf \sin \varphi \quad (7)$$

а так как

$$V = R \frac{d\varphi}{dt} \quad (8)$$

имеем:

$$\frac{V dV}{d\varphi} = Rg \cos \varphi - R \frac{V^2}{R} f - Rgf \sin \varphi \quad (9)$$

$$\frac{dV^2}{2d\varphi} + V^2 f = Rg \cos \varphi - Rgf \sin \varphi \quad (10)$$

Обозначим:

$$u = V^2 \quad (11)$$

Подставив (11) в (10), получаем:

$$\frac{du}{d\varphi} + 2fu = 2Rg \cos \varphi - 2Rgf \sin \varphi \quad (12)$$

Имеем однородное уравнение:

$$u = \tilde{u} + \bar{u} \quad (13)$$

где \tilde{u} произвольное частное решение неоднородного дифференциального уравнения, \bar{u} общее решение однородного уравнения.

Решение однородного уравнения \bar{u} :

$$\frac{du}{d\varphi} + 2fu = 0 \quad (14)$$

Характеристическое уравнение с корнем λ :

$$\lambda + 2f = 0 \quad (15)$$

$$\lambda = -2f \quad (16)$$

Корень действительный, поэтому:

$$\bar{u} = C_1 e^{-2f\varphi} \quad (17)$$

Находим частное решение дифференциального уравнения \tilde{u} :

$$\tilde{u} = A \cos \varphi + B \sin \varphi \quad (18)$$

где A, B определяемые коэффициенты, находим их:

$$\frac{d\tilde{u}}{d\varphi} = -A \sin \varphi + B \cos \varphi \quad (19)$$

Подставляя \tilde{u} в (12), получаем:

$$-A \sin \varphi + B \cos \varphi + 2fA \cos \varphi + 2fB \sin \varphi = 2Rg \cos \varphi - 2Rgf \sin \varphi \quad (20)$$

$$\begin{cases} \sin \varphi : & \{-A + 2fB = -2Rgf \\ \cos \varphi : & \{ B + 2fA = 2Rg \end{cases} \quad (21)$$

Решаем систему (21), находим:

$$A = \frac{6Rgf}{1+4f^2} \quad (22)$$

$$B = \frac{2Rg(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \quad (23)$$

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения $u = \tilde{u} + \bar{u}$:

$$u = C_1 e^{-2f\varphi} + A \cos \varphi + B \sin \varphi \quad (24)$$

Определяем C_1 из начальных условий: при $t = 0$, $u = V_0^2$, $\varphi = \varphi_0$:

$$V_0^2 = C_1 e^{-2f\varphi_0} + A \cos \varphi_0 + B \sin \varphi_0 \quad (25)$$

$$C_1 = e^{2f\varphi_0} (V_0^2 - A \cos \varphi_0 - B \sin \varphi_0) \quad (26)$$

Тогда с учётом (22), (23), (25) скорость движения V зерновки по криволинейной пластине определяется следующим образом:

$$V = \sqrt{C_1 e^{-2f\varphi} + A \cos \varphi + B \sin \varphi} \quad (27)$$

где

$$A = \frac{6Rgf}{1+4f^2} \quad (28)$$

$$B = \frac{2Rg(1-2f^2)}{1+4f^2} \quad (29)$$

$$C_1 = e^{2f\varphi_0} (V_0^2 - A \cos \varphi_0 - B \sin \varphi_0) \quad (30)$$

Окончательно выражение (27) с учётом (28), (29), (30) запишется в виде:

$$V = \sqrt{u} = \sqrt{e^{-2f\varphi_0} \left(V_0^2 - 6Rg \frac{f}{1+4f^2} \sin \varphi_0 - Rg \frac{4f^2-2}{1+4f^2} \cos \varphi_0 \right) e^{-2f\varphi} + 6Rg \frac{f}{1+4f^2} \sin \varphi + Rg \frac{4f^2-2}{1+4f^2} \cos \varphi} \quad (31)$$

Полученное выражение (31) позволяет численно определять величину скорости V движения зерновки по криволинейной пластине в любой её точке, определяемой углом φ (рис. 5), в зависимости начальной скорости движения зерновки V_0 , скорости вращения валцов для плющения ω , коэффициента трения f зерновки о материал пластины, и др.

Зависимости скоростей зерновки V от угла φ представлены на рисунке 6, анализ которых говорит о следующем.

Наибольшая пропускная способность второй ступени плющения достигается при наименьшем падении скорости V в точке K (точке захвата предварительно измельчённой зерновки) при минимальных φ и f . Исходя из того, что величина угла φ , определяющего положение зерновки на пластине, должна быть минимальной, для конструктивной разработки двухступенчатой плющилки зерна с тремя валцами для плющения определяется угол α (рис. 5),

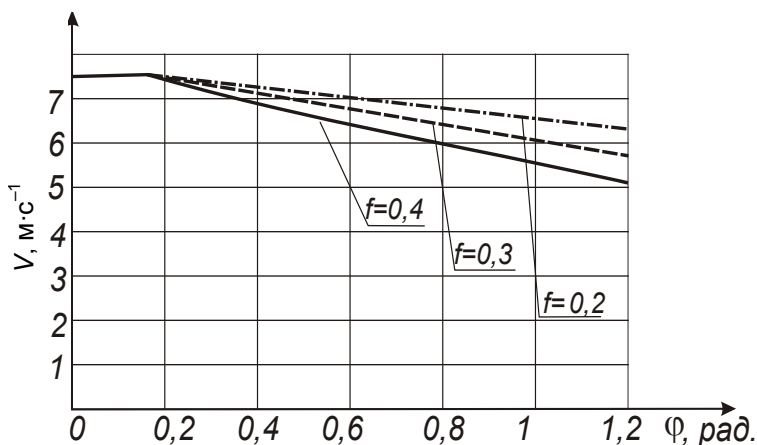


Рис. 6. Изменение величины скорости V движения зерновки по криволинейной пластине в зависимости от угла φ местоположения и коэффициента трения f зерновки о материал криволинейной пластины; источник: собственное исследование

образованный прямыми, проходящими через центры вращения валцов для плющения, который не может быть меньше 60° , а φ_{02} – больше 10° : $\alpha = 60^\circ + \varphi_{02\max}$. Снижение величины другого рассматриваемого фактора – коэффициента трения f между частицей зерна и криволинейной пластиной, приводящего к повышению производительности второй ступени плющения и всей плющилки, зависит от выбора материала, из которого изготовлена пластина.

С учётом результатов данных теоретических исследований разработана уточнённая конструктивно-технологическая схема двухступенчатой плющилки, новизна которой подтверждена патентом на изобретение [Patent RU No. 2647916].

Согласно конструктивно-технологической схемы (рис. 4а) и патента RU №2647916 разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец двухступенчатой плющилки зерна ПЗД-3, общий вид которого представлен на рисунке 4б. Для достоверного изучения функционирования опытного образца двухступенчатой плющилки зерна в производственных условиях он был представлен ФГУ „Кировская МИС” на предварительные испытания [Protokol № 06-60-2005 (1010023)]. Целью предварительных испытаний являлось проведение агротехнической, энергетической оценки, оценки безопасности и надёжности плющилки зерна ПЗД-3. Испытания были проведены при плющении сухого и влажного зерна ячменя, ржи и зерносмеси влажностью 14%, 21,6%, 15,7% и 18,40% соответственно с одновременным внесением консерванта во влажное плющенное зерно в период с 14 июля по 26 декабря 2005 года в агрофирме Кирово-Чепецкого района Кировской области. Зерно, предназначенное для плющения, поступало от комбайнов без предварительной очистки. В качестве консерванта использовали Lupromikx NC. Ис-

пытания проведены при положительной температуре окружающей среды. Зоотехнические показатели процесса плющения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Зоотехнические показатели при лабораторно-полевых испытаниях

Показатель	Значение показателя			
	по техниче- скому заданию	по данным испытаний		
		фон 1	фон 2	фон 3
Дата проведения оценки	нет данных	17.08.2005	17.08.2005	18.08.2005
Продукт переработки (сырье)	сухое и влаж- ное зерно	ячмень	рожь	зерно- смесь
Производительность (т·ч ⁻¹)	<3,0	3,6	3,7	2,6
Характеристика средней толщины хлопьев (мм)	≤0,3	1,8	1,3	1,5
Однородность плющенного продукта (коэффициент вариации) (%)	нет данных	11,93	10,15	20,41
Коэффициент абсорбции	нет данных	0,40	0,65	0,72
Средневзвешенная толщина хлопьев (мм)	1,5	1,8	1,3	1,5
Количество целых зерен (%)	<1,0	1,87	0	2,01
Температура готового продукта (°С)	нет данных	23,3	20,9	20,6
Насыпная масса (кг·м ⁻³)	нет данных	505,6	506,7	382,9
Влажность (%)	нет данных	20,9	15,9	19,9
Потери корма (%)	≤1,00	0,01	0,01	0,01
Фактическая норма вн. консерванта, дм ³ ·т ⁻¹	нет данных	–	–	3,2
Отклонение фактической нормы внесения консерванта от установочной (%)	≤10,5	–	–	6,25

Источник: собственное исследование.

Зоотехнические показатели при лабораторно-полевых испытаниях определены по ОСТ 10 23.6-2003, РД 10.19.2-90.

Энергетическая оценка плющилки зерна ПЗД-3 проведена совместно с зоотехнической с целью определения потребляемой мощности на привод механизмов, удельных энергозатрат на тонну продукции и других показателей. В результате выявлено следующее: установленные для привода механизмов плющилки электродвигатели обеспечивают выполнение технологического процесса, а удельный расход электроэнергии составляет 3,9–4,7 кВт·ч⁻¹. В процессе испытаний по оценке безопасности выявлено, что конструкция машины удобна и безопасна для наладки, техобслуживания и эксплуатации. Коэффициент готовности по оперативному времени составил 0,98, наработка на отказ – 43 часа.

Однако в процессе испытаний были выявлены некоторые недостатки конструкции плющилки – высокая трудоемкость регулировки зазоров между

вальцами, также имели место несоответствия зоотехническим требованиям – количество целых зерен при плющении зерносмеси. По результатам испытаний Федеральное государственное учреждение Кировская МИС рекомендовала продолжить испытания двухступенчатой плющилки зерна ПЗД-3 после устранения выявленных недостатков.

Фракционная технология плющения фуражного зерна (рис. 2) [Patent RU No. 2371262] и двухступенчатая плющилка зерна (рис 4) [Patent RU No. 2647916] в составе этой технологии применены при реконструкции зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш (рис. 7) в д. Полем агрофирмы в Кировской области РФ, которая работает следующим образом.

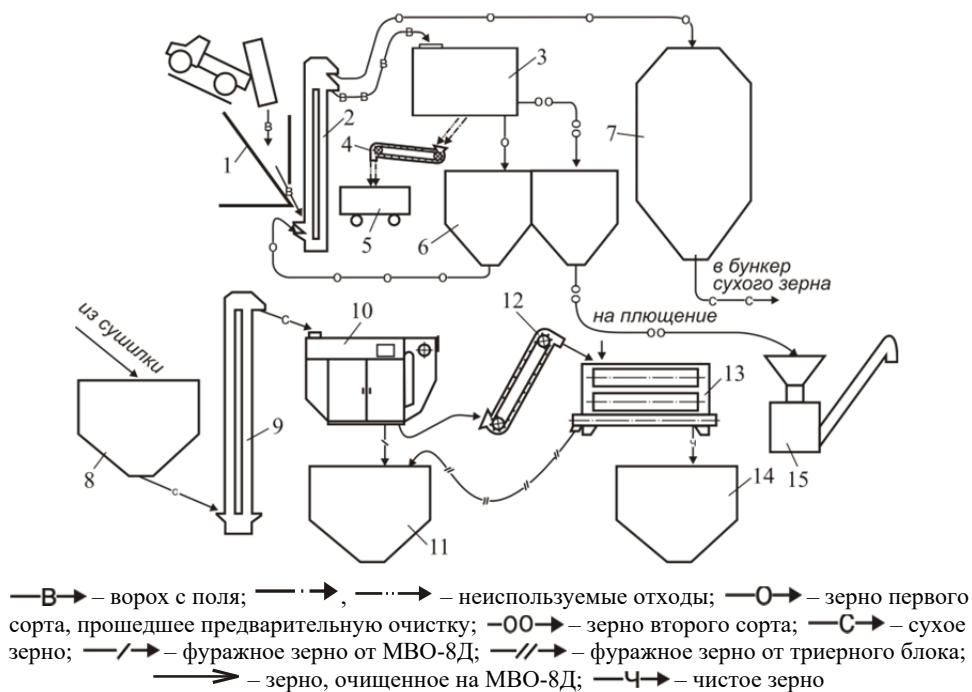


Рис. 7. Технологическая схема комплекса КЗС-20Ш: 1 = завальная яма; 2 = нория сырого зерна; 3 = машина МПО-30ДФ; 4 = транспортер неиспользуемых отходов; 5 = прицеп 2ПТС-4; 6 = бункер- влажного зерна; 7 = сушилка СЗШ-16А; 8 = бункер сухого зерна; 9 = нория; 10 = машина очистки зерна МВО-8Д; 11 = бункер фуражного зерна; 12 = транспортер; 13 = триерный блок ЗАВ-10.90000А; 14 = бункер чистого зерна; источник: собственное исследование

Зерновой ворох с поля высыпает я в завальную яму 1, из которой одним потоком нории 2 подается в машину МПО-30ДФ, где с помощью дополнительной решетной плоскости делится на зерно первого сорта и зерно второго сорта (фуражное зерно), а затем поступает в разделенные части бункера 6.

Наиболее полноценное зерно из бункера вторым потоком нории 2 отправляется в сушилку 7. Зерно второго сорта (фуражная фракция), это примерно до 30% от всего поступившего зерна (щуплое, незрелое, поврежденное, мелкое), отправляется автотранспортом на плющение. Неиспользуемые отходы с машины транспортером 4 загружаются в тракторный прицеп и вывозятся. Высушенное до требуемой влажности (14%) зерно выгружается в бункер сухого зерна 8 и затем дозировано норией 9 в машину МВО-8Д (вторичной очистки зерна). Очищенное зерно с машины подается в триерный блок 13 транспортером 12. Чистое зерно отправляется в бункер 14. Фуражные отходы с триерного блока и машины МВО-8 направляются в фуражный бункер 11. Пылевые отходы с машины оседают в пылеуловителе. Зерно второго сорта (фуражная фракция – до 30% от обрабатываемого зерна) отправляется автотранспортом на плющение. Неиспользуемые отходы с машины транспортером 4 загружаются в тракторный прицеп и вывозятся. Высушенное зерно выгружается в бункер сухого зерна 8 и затем дозировано норией 9 в машину вторичной очистки МВО-8Д. Отсортированное зерно с машины скребковым транспортером 12 подается в триерный блок 13. Чистое зерно отправляется в бункер 14. Фуражные отходы с машин очистки сухого зерна направляются в бункер фуражного зерна 11. Пылевые отходы с машины оседают в пылеуловителе.

При данной технологии обработки и переработки зерна существенно сокращаются энергозатраты на сушку (фуражная фракция зерна не сушится, а используется на корм животным в плющеном виде), повышается производительность комплекса пропорционально выделенной фуражной фракции. Кроме того, за счет скармливания животным плющеного зерна хозяйство получает доход за счёт увеличения их продуктивности.

ВЫВОДЫ

1. Проведён анализ состояния послеуборочной обработки зерна и производства кормов для нужд животноводства в сельхозпредприятиях Кировской области (РФ), который показал высокую эффективность применения в рационах животных зернового корма – плющеного зерна, сухого и влажного.

2. Разработана фракционная технология плющения влажного фуражного зерна на пунктах послеуборочной обработки зерна (патент RU № 2371262), проведён расчёт эффективности её применения вместо традиционной технологии послеуборочной сушки, сортирования и дробления фуражного зерна, который показал, что годовой эффект от применения новой фракционной технологии составляет 2 059 840 рублей.

3. Для технологий плющения зерна разработана конструктивно-технологическая схема двухступенчатой плющилки зерна, проведены теоретические

исследования её рабочего процесса, которые позволили определить рациональные конструктивные параметры криволинейной направляющей пластины и взаиморасположение вальцов для плющения. Новизна исследований подтверждена патентом RU № 2647916.

4. Согласно разработанной схеме изготовлена плющилка зерна ПЗД-3, проведены её предварительные испытания, которые показали соответствие заявляемых параметров предъявляемым требованиям. По результатам испытаний ФГУ «Кировская МИС» рекомендовала продолжить испытания двухступенчатой плющилки зерна ПЗД-3 после устранения выявленных недостатков.

5. Фракционная технология плющения фуражного зерна и двухступенчатая плющилка зерна ПЗД-3 в составе этой технологии применена при реконструкции зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш. Применение данной технологии обработки и переработки зерна существенно сокращает энергозатраты на сушку (фуражная фракция зерна не сушится, а используется на корм животным в плющеном виде), повышается производительность комплекса пропорционально выделенной фуражной фракции.

ЛИТЕРАТУРА

- AKSENOV V.V. 2011. Энергосберегающие технологии глубокой переработки зернового сырья в России [Energoberegayushchiye tekhnologii glubokoy pererabotki zernovogo syr'ya v Rossii / Energy-saving technologies for the deep processing of grain raw materials in Russia]. Polzunovskiy vestnik. No. 2/1 s. 40–44.
- LACHUGA Yu.F. (red.) 2006. Рекомендации по заготовке и использованию высоковлажного фуражного зерна [Rekomendatsii po zagotovke i ispol'zovaniyu vysokovlazhnogo furazhnogo zerna / Recommendations on the harvesting and use of high-moisture feed grain]. Moskva. Rosel'khozakademiya ss. 129.
- ODEGOV V.A. 2000. Заготовка кормов по финской технологии. Консервирование плющеного зерна. (Техническая характеристика плющилок) [Zagotovka kormov po finskoy tekhnologii. Konservirovaniye plyushchenogo zerna (Tekhnicheskaya kharakteristika plyushchilok) / Harvesting feed according to Finnish technology. Preservation of flattened grain. (Technical characteristics of conditioners)]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. No. 4 s. 8–9.
- PEREKOPSKIY A.N., BARANOV L.N., TIKHONRAVOV V.S. 2006. Опыт плющения и консервирования влажного фуражного зерна в Ленинградской области [Opyt plyushcheniya i konservirovaniya vlazhnogo furazhnogo zerna v Leningradskoy oblasti / The experience of flattening and preserving wet feed grain in the Leningrad Region]. Moskva. FGNU "Informagrotek" ss. 64.
- SAVINYKH P.A., KAZAKOV V., SYCHUGOV YU., MOSHONKIN A., ROMANIUK W., BOREK K. 2018a. Разработка воздушно-решётной машины и плющилки для фракционной технологии приготовления зерновых кормов. В: Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: монография [Razrabotka vozduшно-reshetnoy mashiny i plyushchilki dlya fraktsionnoy tekhnologii prigotovleniya zernovykh kormov. V: Problemy intensifikatsii zhivotnovodstva s uchetom okhrany okruzhayushchey sredy i proizvodstva al'ternativnykh istochnikov energii, v tom chisle biogaza: monografiya / Development of air-sieve car and conditioner for fraction-

- al technology of preparation of feed grains. In: Problems of intensification of animal production including environment protection and alternative energy production as well as biogas: monograph]. Falenty-Varshava. ITP s. 145–151.
- SAVINYKH P.A., SYCHUGOV YU.V., KAZAKOV V.A. 2018b. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна площением [Fraktsionnaya tekhnologiya i ustroystva posleuborochnoy obrabotki i pererabotki zerna plyushcheniyem / Fractional technology and devices for post-harvest processing and processing of grain by flattening]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. No. 12 (4) s. 16–21.
- Патент РУ №2647916 С2 МПК V02S 4/06 Двухступенчатая плющилка зерна [Patent RU No. 2647916 С2 МПК V02S 4/06 Dvukhstupenchataya plyushchilka zerna / Patent RU No. 2647916 С2 МПК V02S 4/06 Two-stage grain crusher]. P.A. Savinykh, V.A. Kazakov, A.M. Moshonkin, V.N. Shulyat'yev. Zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Vyatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya» (RU) – № 2016129550; Zayavleno 19.07.2016; opubl. 24.01.2018. Byul. No. 3 ss. 8.
- Патент РУ №2371262 С1 МПК В07В 9/00 В07В 4/02 В07С 4/06 Способ для фракционирования и последующего площения зернового материала и устройства для его осуществления [Patent RU №2371262 S1 МПК V07B 9/00 V07B 4/02 V07C 4/06 Sposob dlya fraktsionirovaniya i posleduyushchego plyushcheniya zernovogo materiala i ustroystva dlya yego osushchestvleniy / Patent RU №2371262 S1 МПК V07B 9/00 V07B 4/02 V07C 4/06 Method for fractionation and subsequent conditioning of grain material and device for its implementation]. Sysuyev V.A., Savinykh P.A., Sychugov N.P., Sychugov YU.V., Kazakov V.A. Zayavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoye uchrezhdeniye Zonal'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva Severo-Vostoka im. N.V. Rudnitskogo (RU) – №2008103297/03; zayavl. 28.01.08; opubl. 27.10.2009, Byul. No. 30 ss. 12.
- Протокол № 06-60-2005 (1010023) от 28 декабря 2005 года приемочных испытаний плющилки зерна двухступенчатой ПЗД-3 [Protokol No. 06-60-2005 (1010023) ot 28 dekabrya 2005 goda priyemochnykh ispytaniy plyushchilki zerna dvukhstupenchatoy PZD-3 / Protocol No. 06-60-2005 (1010023) of December 28, 2005, acceptance tests of a grain crusher for a two-stage PZD-3 grain]. Orichi. Kirov. gos. zonal. mashinoispytat. st. 2005 ss. 35.
- www.agroservice.by [Dostep 22.01.2020].
- www.raston.ru/catalog [Dostep 22.01.2020].

Petr A. SAVINYKH, Vladimir KAZAKOV, Kinga BOREK

CEREAL FEED PRODUCTION TECHNOLOGIES USING CRUSHING

Key words: *conditioning, design parameters, feed grain, feed production technology, grain, nutritional requirements*

Summary

An analysis of the state of post-harvest grain processing and feed production for livestock needs in the Kirov region (RF), which showed the high efficiency of the use of grain feed in animal diet – crushed grain, dry and wet. The fractional technology for flattening (crushing) wet feed grain at the post-harvest grain processing points was developed, and the effectiveness of its application instead of the traditional technology for post-harvest drying, sorting and crushing of feed grain was calculated, which showed that the annual effect of the new fractional technology is 2 059 840 rubles. For the technology of grain crushing, a constructive-technological scheme of a two-stage grain crusher was

developed, theoretical studies of its working process were carried out, which made it possible to determine the rational design parameters of the working elements. According to the developed scheme, the PZD-3 grain crusher was manufactured, its preliminary tests were carried out, which showed the compliance of the claimed parameters with the requirements. Based on the test results of the federal institution recommended continuing the testing of the PZD-3 two-stages crusher after eliminating the identified deficiencies. The fractional technology for crushing feed grain and the two-stage crusher for grain PZD-3 as part of this technology were used in the reconstruction of the grain cleaning and drying complex KZS-20Sh. The use of this technology of processing of grain significantly reduces the energy consumption for drying (the feed grain fraction is not dried, but is used for animal feed in crushed form), the productivity of the complex depends in proportion to the allocated feed fraction.

Petr A. SAVINYKH, Vladimir KAZAKOV, Kinga BOREK

TECHNOLOGIE PRODUKCJI PASZ ZBOŻOWYCH Z ZASTOSOWANIEM GNIECENIA

Słowa kluczowe: kondycjonowanie, parametry projektowe, technologia produkcji pasz, wymagania żywieniowe, ziarno, ziarno paszowe

Streszczenie

Przeprowadzona analiza stanu przetwórstwa zbóż i produkcji pasz na potrzeby zwierząt gospodarskich w regionie Kirowa (Rosja) wykazała wysoką efektywność wykorzystania pasz zbożowych (ziarno rozdrabniane, suche i mokre) w diecie zwierząt. Opracowano technologię frakcyjną gniecenia mokrego ziarna paszowego w punktach przetwarzania ziarna po zbiorach i obliczono skuteczność jej zastosowania zamiast tradycyjnej technologii suszenia, sortowania i rozdrabniania ziarna paszowego po zbiorze, co wykazało, że roczny efekt nowej technologii frakcyjnej wynosi 2 059 840 rubli. Opracowano schemat konstrukcyjno-technologiczny dwustopniowego gniotownika ziarna, przeprowadzono teoretyczne badania jego procesu roboczego, które umożliwiły określenie racjonalnych parametrów projektowych elementów roboczych. Zgodnie z opracowanym schematem wyprodukowano gniotownik ziarna PZD-3, przeprowadzono jego wstępne testy, które wykazały zgodność deklarowanych parametrów z wymaganiami. Na podstawie wyników testu instytucja państwowa zaleciła kontynuację testowania dwustopniowego gniotownika PZD-3 po wyeliminowaniu stwierdzonych braków. W procesie rekonstrukcji kompleksu do czyszczenia i suszenia ziarna KZS-20Sh zastosowano technologię frakcyjną zgniatania ziarna paszowego i dwustopniowy gniotownik ziarna PZD-3. Zastosowanie tej technologii przetwarzania ziarna znacznie zmniejsza zużycie energii do suszenia (frakcja ziarna paszowego nie jest suszona, ale jest stosowana jako pasza dla zwierząt w formie zgniecionej), wydajność kompleksu zależy od frakcji ziarna.

Adres do korespondencji: mgr inż. Kinga Borek, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Oddział w Warszawie, ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa; e-mail: k.borek@itp.edu.pl