

## **Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции**

тем самым активизируя различные биохимические стартовые процессы.

Таким образом, разработанный механический центробежный адаптер может служить не только для подавления жизненной активности хлебных вредителей, но также и для предпосевной обработки семян с целью повышения всхожести и энергии прорастания зерновых культур.

### **Литература**

1. Г.А. Закладной, Р.Ф. Ратанова «Вредители хлебных запасов и меры борьбы с ними», М, изд. Колос, 1973, с.7
2. А.П. Тарасенко «Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке» Воронеж, ВГАЧ, 2003, с. 331
3. Г.А. Закладной «Защита зерна и продуктов его переработки от вредителей» М, изд. «Колос», 1983, с.170
4. И.Т. Мерко «Совершенствование технологических процессов сортового помола пшеницы» М., «Колос», 1989г.
5. Казанина, М. А. Справочник по хранению семян и зерна. М.А.Казанина, В.Я.Воронкова, В.А.Петровская. - Минск : Ураджай, 1991. - 200 с.
6. Шаршунов, Вячеслав Алексеевич. Сушка и хранение зерна: справ. пособие. В.А Шаршунов, Л. В. Рукшан. - Минск : Мисанта, 2010. - 587 с.

УДК 631.563

## **К ВОПРОСУ О ДВУХСТОДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА**

*Дашков В.Н., д.т.н., проф., Воробьев Н.А., к.т.н., доц., Дрозд С.А. (БГАТУ, Минск)*

### **Введение**

Корма в структуре себестоимости производства мяса, молока и других продуктов животноводства составляет около 60%. Поэтому одним из факторов повышения эффективности производства продукции животноводства, является снижение затрат на приготовление корма.

В процессе кормопроизводства используются различные компоненты. Многие из них, в частности, фуражное зерно, требует обработки, прежде чем они будут готовы к добавлению в рацион животных. Процесс измельчения компонентов улучшает производительность во время смешивания и, в большинстве случаев, улучшает питательные свойства компонентов и их практическую реализацию.

Есть много способов для измельчения зерна, снижение энергозатрат которой позволит снизить себестоимость продукции в целом. Поэтому одной из актуальных задач, стоящих перед агроинженерной наукой, является поиск наименее энергозатратного способа измельчения зерна.

### **Основная часть**

На производствах АПК измельчение зерна осуществляется дисковыми мельницами, вальцовыми станками, зубчатыми дробилками, жерновыми поставами, разрыхлителями, вальцовыми станками, дисковыми дробилками и другим технологическим оборудованием.

Наиболее распространенным оборудованием для измельчения зерна являются молотковые дробилки, вальцовые дробилки, вальцовые плющилки, бичевые измельчители.

В ходе проведенного нами анализа энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна были выявлены следующие критерии по показанию удельного расхода энергии и удельной массы.

Показатель удельного расхода энергии для молотковых дробилок находится в диапазоне от 5,2 кВт/т для дробилки ДМ-440У до 13,6 кВт/т для дробилки марки ММ-70, а удельной массы для молотковой дробилки от 99 кг/т/ч для дробилки ДМ-440У до 625 кг/т/ч для дробилки ДКР-2.

Показатель удельного расхода энергии для вальцовых станков находится в диапазоне от 4,5 кВт/т для станка Р6-БЗ-Н до 7,3 кВт/т для станка марки ВС 1000, а удельной массы для вальцовых станков меняется от 266 кг/т/ч для станка ВМ2П до 590 кг/т/ч для станка ЗМ.2 (250×800).

Показатель удельного расхода энергии для вальцовых плющилок находится в диапазоне от 1,9 кВт/т для плющилки ПВ3-350 до 4 кВт/т для плющилки марки 220SM (Murska), а удельной массы для вальцовых плющилок от 43 кг/т/ч для плющилки фирмы Van Aanser до 180 кг/т/ч для плющилки марки 220SM (Murska).

Показатель удельного расхода энергии для бичевых машин находится в диапазоне от 1,1 кВт/т для машины МБО до 3,2 кВт/т для машины марки ЗВО-1, а удельной массы для вальцовых плющилок меняется от 52 кг/т/ч для машины МБО до 286 кг/т/ч для машины марки ЗВО-1. Сравнительно низкие показатели удельного расхода энергии и удельной массы в бичевых машинах МБО вызваны высокой производительностью в связи с предназначением данного типа оборудования от сортирования продуктов измельчения и до измельчения после вальцовых станков[1].

Данные разбежки показателей удельной энергии и удельной массы оборудования для измельчения зерна обуславливается многими факторами: степенью измельчения зерна, производительностью оборудования, предназначением к определенным технологическим операциям, массой оборудования, потреблением энергии.

Проанализировав показатели удельного расхода энергии и удельной массы можно судить, что по данным критериям самым экономичным оборудованием является вальцовые дробилки, так как бичевые машины, несмотря на лучшие показатели имеют иное предназначение.

В своей диссертации Одегов В.А., [2] при исследовании параметров и режимов работы плющилки

влажного зерна, провел экспериментальные исследования по зависимости энергоемкости вальцовых плющилок от межвальцового зазора, величина которого прямым образом влияет на степень измельчения. Которое показало, что в вальцовых плющилках, как и в другом оборудовании для измельчения зерна, большое влияние на производительность оказывает степень измельчения. При уменьшении степени измельчения растет производительность и понижается удельный расход энергии и удельная масса.

Поэтому целесообразно производить измельчения в два этапа, то есть вальцовая машина обрабатывает сырье для дальнейшей доработки молотковой дробилкой, или, что ещё лучше, другой вальцовой машиной, с установленным меньшим зазором.

Данный вывод также подтверждается в диссертации Дорофеева Н.С. При исследовании процесса двух стадийного измельчения зерна, Дорофеев Н.С. провел опыты на молотковых дробилках, по измельчению цельного и плющеного ячменя с влажностью от 11 до 17,5%. При двух стадийном опыте измельчения зерна на молотковой дробилке ДКУ-М ее производительность увеличивается в 2-3 раза, а удельный расход энергии уменьшается, примерно в два раза по сравнению с дроблением неплющеного зерна до одинакового модуля размола.

Аналогичные опыты с овсом влажностью от 12 до 17,5% так же показали, что производительность дробилки в двухстадийном способе измельчения в 2,5—3,0 раза выше и удельная энергоемкость в 2—2,5 раза меньше, чем при измельчении целого овса при равной величине модуля размола[3].

Продукт дробления двух стадийным способом отвечает всем необходимым требованиям по гранулометрическому составу даже при установке решет с диаметром отверстий 10 мм. В то же время при измельчении целого зерна на молотковой дробилке ДКУ-М получаемый продукт не соответствует требованиям по гранулометрическому составу уже при установке решет с диаметром отверстий 4мм, что вынуждает работать производителя с меньшим диаметром решета, вследствие чего резко снижается производительность и возрастает энергопотребление.

Двух стадийное измельчение также применяются в вальцовых станках. В своей работе Дорофеев Н.С. описываются опыты по измельчению ячменя с различной влажностью. Результаты опытов показали, что удельная энергоемкость при влажности зерна до 14 процентов у вальцового станка и молотковой дробилки в схеме двух стадийного измельчения примерно одна и та же. С возрастанием влажности эффективность двух стадийного способа становится на 30 – 40 процентов выше, чем размол на вальцовом станке.

Энергоемкость разрушения материала зависит от состояния поверхности дробильного тела. В связи с этим можно считать целесообразным создание в измельчаемом материале зон предварительного разрушения искусственным путем. Применительно к работе молотковых дробилок процесс искусственного образования трещин, характеризующих сопротивление тела при разрушении, можно реализовать путем предварительного плющения зерна рифлеными валками.

Многозвенная система широко применяется в мукомольной промышленности, путем пропуска зерна через несколько вальцовых станков с разным межвальцовым зазором или комбинирование вальцового станка с бичевыми измельчителями, что позволяет получить высокую степень измельчения и однородность помола.

Для еще большей экономии энергии и сокращение удельной массы оборудования применяется двух стадийные машины для измельчения зерна. Данная машина включает в себя двухзвенную систему, этим позволяет заменить две единицы оборудования и сократить производственные площади, удельную массу и затраты на покупку оборудования.

Существует два принципа двух стадийного измельчения. Первый заключается в том, что измельченный продукт, при выходе из дробильной камеры подвергается сепарации и часть продукта, размер которого превышает необходимый, возвращается на доизмельчение в ту же камеру вместе с не измельченным продуктом. Ко второму типу относятся комбинирование двух рабочих органов, например вальцовые и молотковые рабочие органы. Схема двухстадийных измельчителей зерна и варианты их конструкции приведены в таблице 1.

Основные преимущества двухстадийных измельчителей зерна:

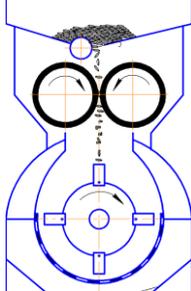
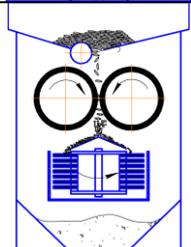
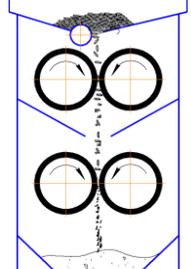
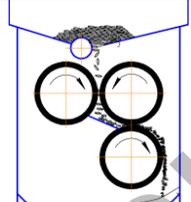
- повышение производительности по сравнению с одностадийным измельчением;
- снижение энергопотребления при производстве одной тонны продукции;
- улучшение гранулометрического состава измельченного продукта;
- повышение износостойкости рабочих поверхностей.

Для двухстадийного измельчения зерна в комбикормовом производстве применяются плющилки зерна марки ПЗД-3 и ПЗД-6 разработанные в г. Кирове. Производительность плющилок 3 и 6 тонн в час соответственно. Рабочими органами являются три вальца образуя две ступени плющения с различными межвальцовыми зазорами. При выходе из первой ступени зерно попадает на перфорированную пластину, на которой происходит сепарирования помола по гранулометрическому составу. Крупные частицы зерна не прошедшие через сетку направляются на доизмельчение на второй ступени. При выходе из плющилки молотое зерно орошается концентратом. Для двух стадийного измельчения зерна в комбикормовом производстве применяются плющилки зерна марки ПЗД-3 и ПЗД-6 разработанные в г. Кирове. Производительность плющилок 3 и 6 тонн в час соответственно. Рабочими органами являются три вальца образуя две ступени плющения с различными межвальцовыми зазорами. При выходе из первой ступени зерно попадает на перфорированную пластину, на которой происходит сепарирования помола по гранулометрическому составу.

**Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции**

Крупные частицы зерна не прошедшие через сетку направляются на доизмельчение на второй ступени. При выходе из плющилки молотое зерно орошается концентратом[4].

Таблица 1 – Варианты конструкции двухстадийных измельчителей зерна.

№	Схема двухстадийных измельчителей	Конструктивные особенности
1		<b>Сочетание пары валцов с горизонтально расположенным молотковым ротором</b> Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Данный тип подходит для тонкого измельчения зерна. Высокая производительность. Возможность привода одним электродвигателем.
2		<b>Сочетание пары валцов с вертикально расположенным молотковым ротором</b> Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Более сложная конструкция, по сравнению с 1 вариантом. Повышенное выделение пыли и шума.
3		<b>Комбинирование двух пар валцовых рабочих органов</b> Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, и сдвига. Более низкий расход энергии. В отличие от 1 и 2 варианта, размер частиц может легко регулироваться путем изменения зазора, а не заменой сит. Пониженное выделение пыли и шума.
4		<b>Комбинирование трех валцовых рабочих органов</b> Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия и сдвига. Наиболее компактный вариант конструкции. Пониженное выделение пыли и шума.

Также известны двух стадийные валцовые дробилки зерна марки Davis, производства США. В них применяется сочетание двух пар валцовых рабочих органов, которые размещаются друг над другом. Зерно при выходе из первой ступени дробления, тут же подвергается доизмельчению на второй ступени[5].

Также двух и трех стадийные дробилки зерна применяются при дроблении солода в пивоваренном производстве. Выпуском подобных дробилок занимаются немецкие компании Buhler и Kunzel. Двух стадийные дробилки этих фирм имеют производительность от 0,3 до 10 тонн в час, конструкция дробилок аналогична ранее рассмотренным дробилкам фирмы Davis[6,7].

**Заключение**

Наиболее подходящим оборудованием для измельчения фуражного зерна, по критерию энергоемкости, является валцовые плющилки. В оборудовании для измельчения зерна большое влияние на производительность оказывает степень измельчения. При уменьшении степени измельчения растет производительность и понижается удельный расход энергии и удельная масса оборудования.

Благоприятный энергетический баланс возникает в случае использования двухзвенных систем, когда валцовая машина обрабатывает сырье для дальнейшей доработки молотковой дробилкой, или, что ещё лучше, для другой валцовой машины, с установленным меньшим зазором.

Для большей экономии энергии и сокращения удельной материалоемкости оборудования применимы двух стадийные машины для измельчения зерна. Применение двух стадийной машины позволяет заменить две единицы оборудования и сократить энергозатраты, производственные площади, удельную материалоемкость и затраты на покупку оборудования.

*Литература*

1. Дашков, В.Н. Анализ энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна / Дашков В.Н., Воробьев Н.А., Дрозд С.А. // Инновация технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. – Минск, БГАТУ, 2011. – №2. – С.73-77.
2. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна / В.А. Одегов // Дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Зон. Науч.-исслед. ин-т с/х Сев-Восточ. им Н.В. Рудского. – Киров, 2005.
3. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна / Н.С. Дорофеев // Автореферат дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Воронежский с/х институт. – Воронеж, 1967.
4. Плющилка зерна двухступенчатая ПЗД-3. Протокол испытания. – Киров.: «Зональный научно-исследовательский институт Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», 2006. – 7 с.
5. Сайт компании «Davis» [Электронный ресурс]: Каталог двухстадийных измельчителей зерна – Режим допуска: [www.hcdavis.com](http://www.hcdavis.com)
6. Сайт компании «Buhler» [Электронный ресурс]: Каталог оборудования для измельчения зерна – Режим допуска: [www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)
7. Сайт компании «Kuenzel» [Электронный ресурс]: измельчители зерна — Режим допуска: [www.kuenzel.cc](http://www.kuenzel.cc)

УДК 631.563

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА**

*Дашков В.Н., д.т.н., проф., Воробьев Н.А., к.т.н., доц., Дрозд С.А. (БГАТУ, Минск)*

**Введение**

В целях повышения конкурентоспособности продукции большое внимание уделяется энергоёмкости и ресурсоемкости применяемых технологий и оборудования. Поэтому одной из ключевых задач, стоящих перед агроинженерной наукой является разработка энергосберегающих технологий и оборудования при одновременном снижении их металлоёмкости. В связи с этим исследование, моделирование и оптимизация рабочего процесса двух стадийного измельчения с целью энергосбережения является весьма актуальной задачей.

**Основная часть**

Для проведения экспериментального исследования была выбрана схема двух стадийного измельчения зерна, которая включает в себя сочетание пары валцов с горизонтально расположенным молотковым ротором. Предварительное воздействие на зерно валцами способствует искусственному образованию трещин и снижению сопротивления зерна при дальнейшем измельчении молотковым ротором. Данное сочетание рабочих органов способствует снижению энергопотребления, повышению производительности измельчителя и улучшению качества готового продукта[1].

В качестве параметров оценки показателей процесса были выбраны:

у1 – производительность  $Q$ , т/ч;

у2 – мощность затрачиваемая на осуществление процесса  $N$ , кВт;

у3 – качество плющения  $t_n$ , мм;

у4 – энергоёмкость  $\mathcal{E}$ , кВт ч/т.

На указанные параметры влияют многие факторы. Для первой ступени измельчения (валцами) основными факторами являются: диаметр валцов, длина валцов, окружная скорость валцов, зазор между валцами, коэффициент трения зерна, скорость подачи зерна, тип рабочей поверхности, шаг рифлей, геометрические характеристики рифлей, передаточное отношение валцов, влажность зерна. Для второй ступени измельчения (молотковым ротором) – диаметр ротора, длина ротора, окружная скорость ротора, количество молотков в роторе, диаметр отверстий в решетке.

Наиболее эффективно будет оптимизировать факторы, которые оказывают значительное влияние на параметры оценки показателей процесса и обладают возможностью регулирования без существенных затрат.

С учетом изложенного выше многофакторная зависимость запишется:

$$(Q, N, t_n, \mathcal{E}) = f(b, i, d)$$

где  $b$  – зазор между валцами, мм;

$i$  – передаточное отношение валцов;

$d$  – диаметр отверстий в решетке, мм.

Исследование по изучению влияния величины зазора между валцами, передаточного отношения валцов и диаметра отверстий в решетке на производительность, качество плющения, потребляемую мощность и энергоёмкости процесса плющения производили на экспериментальной установке.

Лабораторная установка состоит из двух измельчителей: валцового ИПЗ-3 и молоткового ИК-1.

Подлежащие измельчению зерно засыпается в бункер вальцовой плющилки, из которого через воронку, при открытой заслонке, попадает на рифленные ведущий и ведомый валцы. Проходя через межвальцовый зазор, зерно сплющивается и высыпается через выгрузное окно.

На данной ступени измельчения исследуется влияние межвальцового зазора и передаточного отношения валцов на исследуемые показатели при двух стадийном измельчении. Зазор между валцами