

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

В.Н. Дашков, докт. техн. наук, профессор, Н.А. Воробьев, канд. техн. наук, доцент,  
С.А. Дрозд, ассистент (БГАТУ)

### Аннотация

*В работе проведен анализ ресурсоэффективности оборудования для измельчения зерна по критерию энергоемкости. Установлено, что применение двухстадийной машины позволяет заменить две единицы оборудования и тем самым сократить энергозатраты, производственные площади, удельную материалоемкость и капитальные затраты на оборудование.*

*The analysis of a resource-effectiveness of the equipment for grain crushing by criterion of power consumption is carried out in the article. It is established that the usage of a two-phasic car allows replacing two units of equipment and by that reducing energy consumption, floor spaces, a specific material capacity and capital expenditure for the equipment.*

### Введение

Одним из важнейших факторов высокоэффективного производства животноводческой продукции является обеспечение животных полноценными кормами, сбалансированными по питательным веществам в соответствии с зоотехническими требованиями.

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

Измельчение фуражного зерна является важнейшей технологической операцией процесса приготовления кормов, снижение энергозатрат которой позволит снизить себестоимость продукции в целом. Поэтому одной из актуальных задач, стоящих перед агроинженерной наукой, является поиск решений по оптимизации характеристик оборудования для измельчения зерна по энергоемкости.

### Основная часть

На производствах АПК измельчение зерна осуществляется дисковыми мельницами, вальцовыми станками, молотковыми дробилками, жерновыми поставами, разрыхлителями, вальцедековыми станками, дисковыми дробилками и др. Наиболее распространенным оборудованием для измельчения зерна являются молотковые дробилки, вальцовые дробилки, вальцовые плющилки, бичевые измельчители.

Проведенный анализа энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна позволил выявить существенные различия по отношению мощности к производительности и отношению массы к производительности даже для однотипных машин [1].

Отношение мощности к производительности для молотковых дробилок (рис. 1) находится в диапазоне от 5,2 кВт·ч/т (дробилка ДМ-440У) до 13,6 кВт·ч/т (дробилка марки ММ-70).

Отношение массы измельчителя к производительности для молотковой дробилки (рис. 2) находится в диапазоне от 99 кг·ч/т (дробилки ДМ-440У) до 625 кг·ч/т (дробилка ДКР-2).

Для вальцовых станков отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 4,5 кВт·ч/т (станок Р6-БЗ-Н) до 7,3 кВт·ч/т (станок марки ВС 1000), а отношение массы измельчителя к производительности меняется от 266 кг·ч/т (станок ВМ2П) до 590 кг·ч/т (ЗМ 2 250×800).

Для вальцовых плющилок отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 1,9 кВт·ч/т (для плющилки ПВЗ-350) до 4 кВт·ч/т (для плющилки марки 220SM Murska), а отношение массы измельчителя к производительности меняется от 43 кг·ч/т (плющилки фирмы Van Aanser) до 180 кг·ч/т (плющилка 220SM Murska).

Для бичевых машин отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 1,1 кВт·ч/т (для машины МБО) до 3,2 кВт·ч/т (для машины марки ЗВО-1), а отношение массы измельчителя к его производительности меняется от 52 кг·ч/т (для машины МБО) до 286 кг·ч/т (для машины марки ЗВО-1).

Для определения наиболее эффективного измельчающего оборудования рассмотрим диаграммы на рис. 3 и 4.

На первой диаграмме (рис. 3) представлено сравнение минимального и максимального значения отношения мощности к производительности для каждого типа оборудования, из которого можно видеть, что наименьшие показатели у вальцовых плющилок,

так как бичевые машины несмотря на меньшие показатели, имеют иное предназначение.

На второй диаграмме (рис. 4) представлены сравнительные данные отношения массы измельчи-

теля к его производительности, по которым также можно судить о преимуществе вальцовых плющилок. Это обусловлено высокой производительностью и сравнительно небольшой массой этих машин.

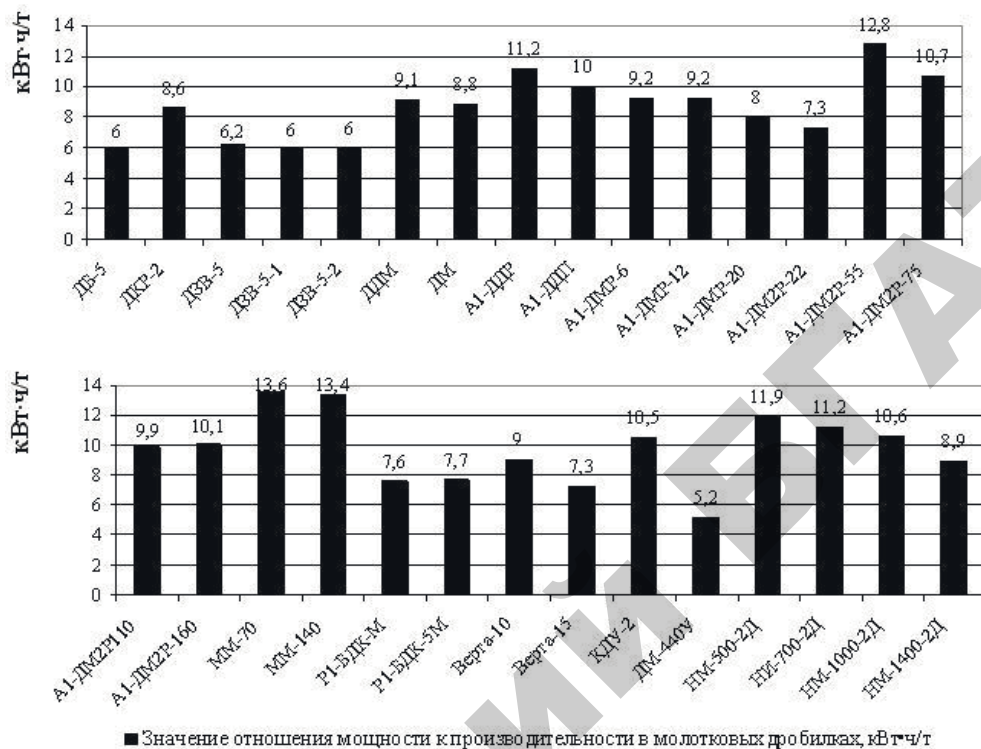


Рисунок 1. Сравнение значений отношения мощности к производительности для молотковых дробилок

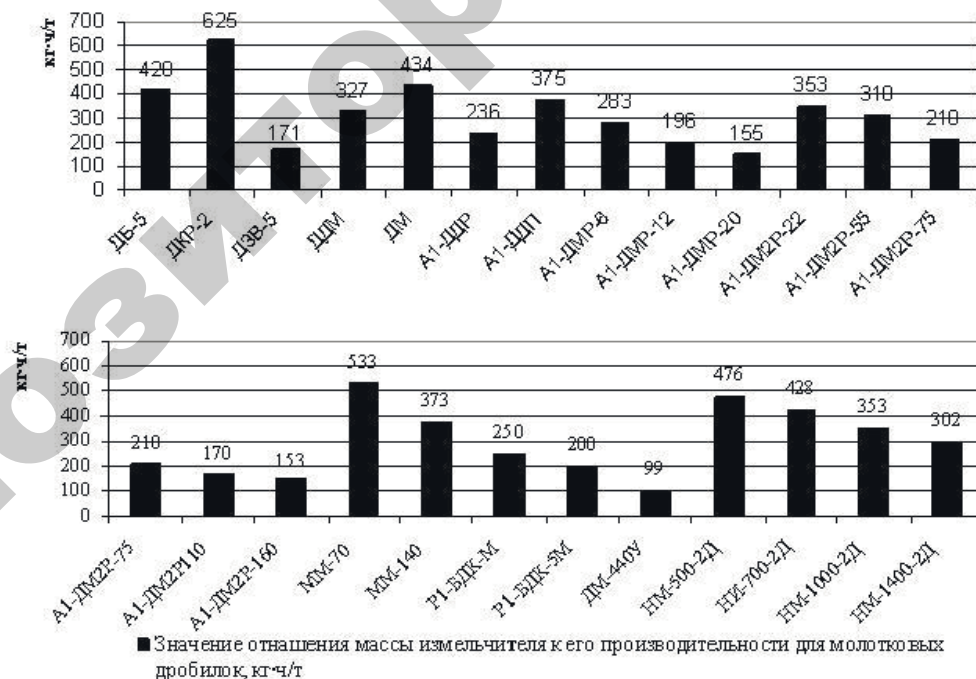


Рисунок 2. Сравнение значений отношения массы измельчителя к производительности для молотковых дробилок



Рисунок 3. Сравнение максимальных и минимальных значений отношения мощности к производительности

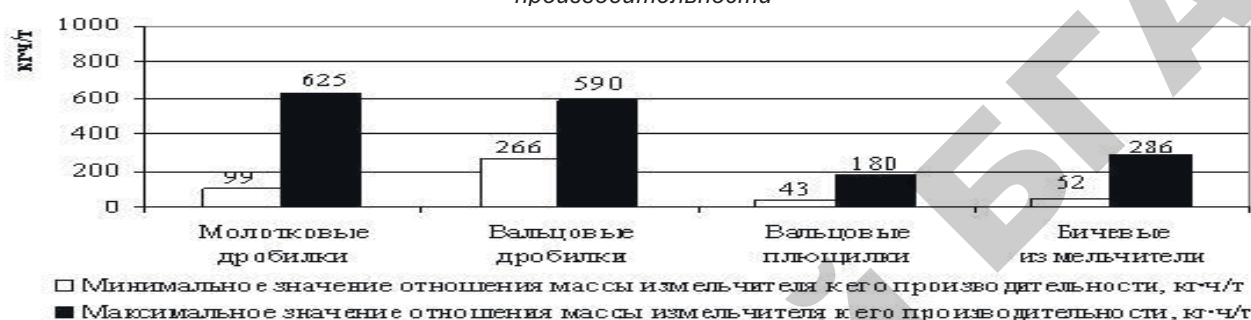


Рисунок 4. Сравнение максимальных и минимальных значений отношения массы измельчителя к производительности

Проанализировав отношения мощности и массы к производительности, можно судить о том, что в настоящее время наиболее энергетически эффективным оборудованием являются вальцовые плющилки. Однако они не всегда способны обеспечить требуемый гранулометрический состав измельченного продукта для приготовления комбикорма. Молотковые дробилки его обеспечивают, но они обладают более высокой энергоемкостью.

Перспективным решением является реализация варианта, обеспечивающего симбиоз двух машин, при котором совмещаются две технологии измельчения зерна, что позволит не только сократить энергоемкость процесса, но при этом обеспечить качество и однородность продукции.

На первой стадии двухстадийного измельчения осуществляется воздействие на зерно плющением, что способствует нарушению целостности зерновки и образованию в ней микротрещин, тем самым снижая его прочность. Цель – полностью разрушить зерно в данном случае не ставится. Это позволяет применять режимы работы, способствующие максимальному увеличению производительности и минимизации энергозатрат.

На второй стадии плющенное зерно измельчается, например молотковой дробилкой, до надлежащего качества, соответствующего зоотехническим требованиям. Энергопотребление измельчения плющеного зерна существенно ниже, чем при измельчении целого зерна, при одинаковом модуле помола.

Предварительное воздействие на зерно при первой стадии измельчения способствует образованию в

продукте некоторого количества фракции, соответствующей зоотехническим требованиям. Отделение данной фракции производится при помощи сепарирующего решета, установленного между первой и второй ступенью измельчения, которое не допускает попадания уже достаточно измельченного зерна с первой стадии на вторую, тем самым исключая его переизмельчение и дополнительные затраты энергии.

Следовательно, производительность двухстадийного измельчения можно определить как сумму производительности второй стадии измельчения  $Q_{2стад}$  и производительности сепарирующего решета  $Q_{реш}$ , что свидетельствует о более высокой производительности двухстадийной системы.

Производительность двухстадийного измельчения определяется по выходу требуемой фракции из следующей зависимости:

$$Q = Q_{2стад} + Q_{реш} \quad (1)$$

При этом производительность вальцовой плющилки  $Q_{1стад}$  может быть принята выше производительности молотковой дробилки на величину отсева измельченной фракции на сепарирующем решете.

В этом случае производительность двухстадийного измельчения будет определяться тождеством:

$$Q = Q_{1стад} \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от параметров сепарирующего решета, и его величину необходимо определить экспериментальным путем.

Энергопотребление двухстадийного измельчения  $\mathcal{E}$  может быть определено путем суммирования энергозатрат первой и второй стадии измельчения, а также энергозатрат на привод решета, при этом следует учесть, что энергозатраты второй стадии будут меньше затрат одностадийного измельчения на  $\Delta\mathcal{E}$  – затрат на переизмельчение материала, отделенного решетом.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{1\text{стад}} + \mathcal{E}_{2\text{стад}} + \mathcal{E}_{\text{реш}} ,$$

где  $\mathcal{E}_{1\text{стад}}$  – энергозатраты первой стадии из-

мельчения, кВт·ч/т;

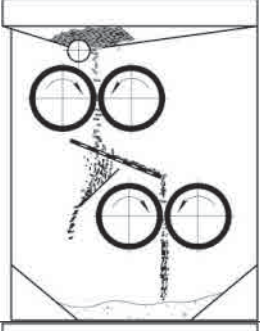
$\mathcal{E}_{2\text{стад}}$  – энергозатраты второй стадии измельчения, кВт·ч/т;

$\mathcal{E}_{\text{реш}}$  – энергозатраты сепарирующего решета, кВт·ч/т.

Схемы двухстадийных измельчителей зерна и варианты их конструкции приведены в табл. 1.

Для двухстадийного плющения зерна в комбикормовом производстве применяются плющилки зерна

**Таблица 1. Варианты конструкции двухстадийных измельчителей зерна**

№	Схема двухстадийных измельчителей	Конструктивные особенности
1		Сочетание пары вальцов с горизонтально расположенным молотковым ротором Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Данный тип подходит для тонкого измельчения зерна. Высокая производительность. Возможность привода одним электродвигателем.
2		Сочетание пары вальцов с вертикально расположенным молотковым ротором Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Более сложная конструкция, по сравнению с 1 вариантом. Повышенное выделение пыли и высокий уровень шума.
3		Комбинирование двух пар вальцовых рабочих органов 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. Меньшее выделение пыли и низкий уровень шума.
4		Комбинирование трех вальцовых рабочих органов Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия и сдвига. Наиболее компактный вариант конструкции. Пониженное выделение пыли и шума.

марки ПЗД-3 и ПЗД-6. Производительность плющилок – 3 и 6 тонн в час соответственно. Рабочими органами являются 3 вальца, образуя две ступени плющения с различными межвальцовыми зазорами. При выходе из первой ступени зерно попадает на перфорированную пластину, на которой происходит сепарирование помола по гранулометрическому составу. Крупные частицы зерна, не прошедшие через сетку, направляются на доизмельчение на второй ступени [2].

Также известны двухстадийные вальцовые дробилки зерна марки Davis, производства США. В них применяется сочетание двух пар вальцовых рабочих органов, которые размещаются друг над другом. Зерно при выходе из первой ступени дробления тут же подвергается доизмельчению на второй ступени [3].

Двух и трехстадийные дробилки зерна также применяются при дроблении солода в пивоваренном производстве. Выпуском подобных дробилок занимаются немецкие компании Buhler и Kunzel. Двухстадийные дробилки этих фирм имеют производительность от 0,3 до 10 тонн в час, конструкция дробилок аналогична ранее рассмотренным дробилкам фирмы Davis [4, 5].

Для проверки гипотезы о снижении ресурсоемкости комбинированной технологии были проанализированы известные исследования процесса двухстадийного измельчения зерна. Анализ показал, что основными являются исследования по воздействию на зерно валь-

цами на первой стадии (плющение) и затем молотками или вальцами (плющение) на второй стадии.

Известны экспериментальные исследования (рис. 5) по изучению зависимости энергоемкости вальцовых плющилок от межвальцового зазора [6].

Результаты исследований (рис. 5) свидетельствуют, что энергоемкость двухступенчатого плющения значительно ниже при больших зазорах на первой ступени (зона 2 на рис. 5) для всех исследуемых зазоров второй ступени, в сравнении с одноступенчатым плющением (зона 1 на рис. 5). То есть целесообразно на первой ступени устанавливать зазор  $h_1=1,2...1,8$  мм, а требуемую толщину хлопьев достигать на второй ступени процесса плющения, что позволит снизить энергозатраты второй ступени на величину, соответствующую разнице площадей зон 1 и 2 на рис. 5.

График на рис. 6 показывает изменение удельных энергозатрат на единицу степени плющения. Анализируя эту зависимость, можно видеть, что при увеличении степени плющения для двухступенчатого плющения (т.е. уменьшения межвальцового зазора второй ступени) удельные энергозатраты снижаются [6].

Известны исследования по измельчению цельного и плющеного ячменя различной влажности на молотковых дробилках ДКУ-М, результат которых представлен на рис. 7 и 8 [7].

Удельная энергоемкость двухстадийного способа

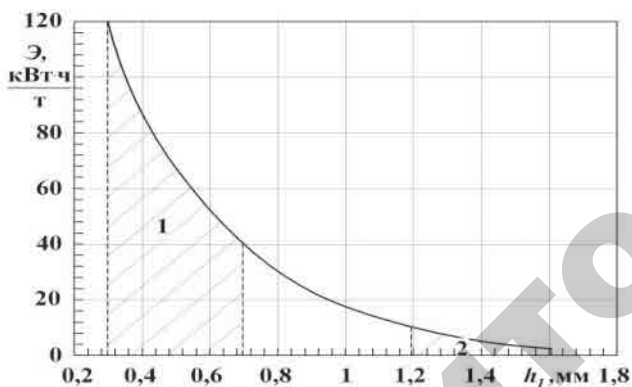


Рисунок 5. Зависимость изменения энергоемкости Э от входного межвальцового зазора

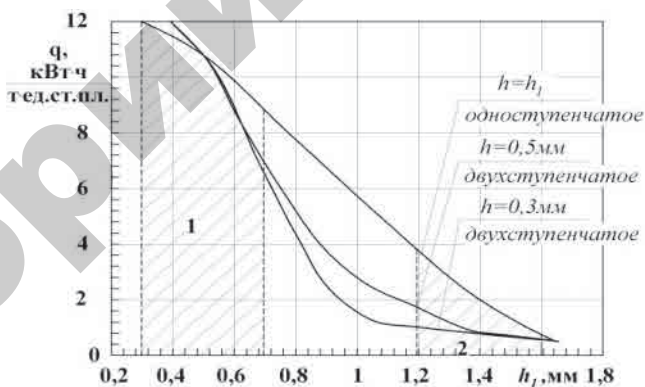


Рисунок 6. Зависимость изменения удельных энергозатрат q от входного межвальцового зазора

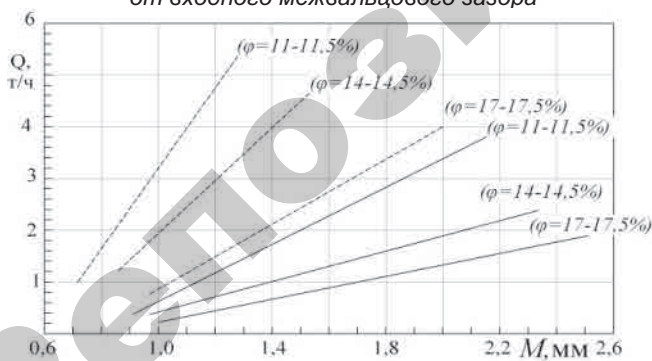


Рисунок 7. Зависимость производительности молотковой дробилки ДКУ-М от модуля размола зерна при различной влажности ( $\varphi$ )

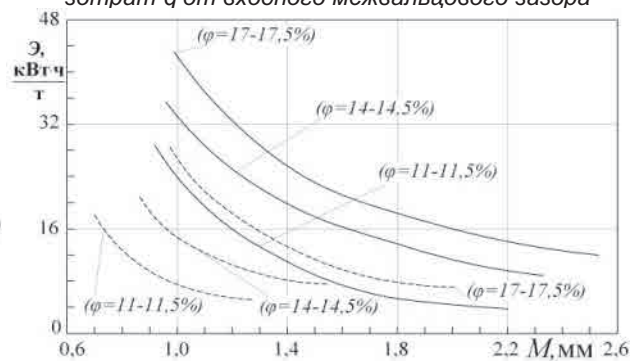


Рисунок 8. Зависимость удельного расхода энергии от модуля размола зерна при различной влажности ( $\varphi$ )

переработки принята суммарной, с учетом затрат энергии в операции предварительного плющения и окончательного измельчения в камере молотковой дробилки.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 7 и 8, производительность дробилки при двухстадийном способе переработки более чем в два раза выше, а суммарный удельный расход энергии примерно в два раза меньше по сравнению с дроблением неплющеного зерна при одинаковом модуле размола получаемого продукта. При этом также отмечается, что при измельчении целого зерна на молотковой дробилке ДКУ-М получаемый продукт не соответствует требованиям ГОСТ 8770-58 по гранулометрическому составу уже при установке решет с диаметром отверстий 4 мм. При установке в дробилку решет с отверстиями 6 и 8 мм получаемый материал дробления состоит из целых и полуразрушенных зерен. В связи с этим в производственных условиях применять решета с отверстиями Ø 6 и Ø 8 мм не представляется возможным и приходится работать с решетками Ø 2,5-3,0 мм, что резко снижает производительность измельчающей установки. Продукт дробления двухстадийным способом отвечает всем необходимым требованиям по гранулометрическому составу даже при установке решет с диаметром отверстий 10 мм [7].

#### **Заключение**

1. На основании анализа характеристик оборудования для измельчения зернофуража разных типов, а также обзора исследований процесса двухстадийного измельчения зерна, можно сформулировать основные преимущества двухстадийных измельчителей зерна:

- повышение производительности по сравнению с одностадийным измельчением и, как следствие, повышение ресурса рабочих поверхностей;
- снижение удельного энергопотребления при производстве продукции;
- повышение равномерности гранулометрического состава измельченного продукта.

2. Для установления теоретических зависимостей и обоснования параметров оборудования для двухстадийного измельчения зерна необходимо выполнить комплекс экспериментальных работ по определению эмпирических коэффициентов и оптимизации режимов процесса.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дашков, В.Н. Анализ энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Инновация технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2011. – №2. – С. 73-77.
2. Плющилка зерна двухступенчатая ПЗД-3. Протокол испытания. – Киров.: Зональный науч.-исслед. ин-т Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», 2006. – 7 с.
3. Сайт компании «Davis» [Электронный ресурс] // Каталог двухстадийных измельчителей зерна. – Режим доступа: [www.hcdavis.com](http://www.hcdavis.com). – Дата доступа: 28.03.2013.
4. Сайт компании «Buhler» [Электронный ресурс] // Каталог оборудования для измельчения зерна. – Режим доступа: [www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com). – Дата доступа: 28.07.2013.
5. Сайт компании «Kuenzel» [Электронный ресурс]: измельчители зерна. – Режим доступа: [www.kuenzel.cc](http://www.kuenzel.cc). – Дата доступа: 28.07.2013.
6. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: дисс. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / В.А. Одегов / Зон. Науч.-исслед. ин-т с.-х. Сев-Восточ. им Н.В. Рудского. – Киров, 2005.
7. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.С. Дорофеев; Воронежский с.-х. ин-т. – Воронеж, 1967.

## **Микропроцессорная система кормления свиней**



*Предназначена* для оперативного изменения доз кормления, контроля процесса кормления, учета расхода сухого и жидкого корма.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс кормления свиней, повысить эффективность и снизить издержки производства свинины.

#### **Основные технические данные**

1. Полная совместимость с типовым технологическим оборудованием КПС-54, КПС-108.
2. Нормированное кормление, оперативное изменение норм кормления.
3. Расчет фактических объемов замеса и раздачи жидкого корма без остатков.
4. Сокращение времени кормления в 1,5...2 раза.
5. Значительно дешевле и лучше западных аналогов.