

УДК 631.363.21

Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь);

А.И. Пунько, М.В. Иванов

(РУП «НПЦ НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Введение

Обеспечение сельскохозяйственных животных полноценными кормами, соответствующими зоотехническим требованиям, является важнейшим фактором высокоэффективного производства животноводческой продукции.

На приготовление комбикормов приходится до 30 % затрат в животноводстве, при этом наиболее энергоемким процессом является измельчение зернофуража.

Существует много способов измельчения зерна, снижение энергопотребления в которых позволит снизить себестоимость продукции в целом. Одним из таких способов является двухстадийное измельчение зерна, его изучение позволит эффективно внедрять данный способ в производство и получать положительный экономический эффект.

Основная часть

В ходе анализа энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зернофуража нами был сделан вывод о том, что в данный момент наиболее энергетически эффективным оборудованием являются вальцовые плющилки [1]. Однако они не всегда способны обеспечить требуемый гранулометрический состав измельченного продукта и необходимую степень измельчения. Молотковые дробилки способны обеспечить необходимую степень измельчения, при этом помол обладает неоднородностью гранулометрического состава, а процесс измельчения – высокой энергоемкостью.

Оптимальный вариант можно найти в симбиозе двух машин, которые совместят два этапа измельчения зерна, что позволит не только сократить энергоемкость процесса, но при этом повысить качество и однородность измельченного зерна.

На первой стадии двухстадийного измельчения осуществляется предварительное воздействие на зерно, что способствует нарушению целостности зерна и образованию в нем микротрещин, тем самым снижается его прочность – цель полностью разрушить зерно в данном случае не ставится. Это позволяет применять режимы измельчения, способ-

ствующие максимальному увеличению производительности и минимизации энергозатрат.

На второй стадии «ослабшее» зерно измельчается до надлежащего качества, соответствующего зоотехническим требованиям. Энергопотребление измельчения «ослабленного» зерна существенно ниже, чем измельчения целого зерна, при одинаковом модуле помола при этом предварительное воздействие на зерно на первой стадии измельчения способствует образованию в продукте фракции, соответствующей зоотехническим требованиям [1].

Изучением процесса двухстадийного измельчения зерна занимался ряд исследователей: В.А. Афанасьев, Н.С. Дорофеев, В.А. Одегов, А.А. Сундеев, В.А. Елисеев, И.Б. Шагдыров [2–7] и другие ученые.

Анализ исследований в области двухстадийного измельчения зерна показал, что они подтверждают эффективность двухстадийного измельчения при использовании схем: плющение – дробление (молотковая дробилка); плющение – плющение (вальцовая плющилка). Однако при этом нет данных об измельчении по схемам: плющение – дробление (вальцовая дробилка); дробление (вальцовая дробилка) – дробление (вальцовая дробилка); дробление (вальцовая дробилка) – дробление (молотковая дробилка). Нет сравнения эффективности приведенных схем, а также аналитических и экспериментальных зависимостей, позволяющих сравнить эффективность указанных схем.

Приведенные в статье исследования базируются на схеме двухстадийного измельчения зерна, которая включает в себя сочетание пары измельчающих валцов с горизонтально расположенным молотковым ротором.

Данное сочетание рабочих органов ранее не исследовалось. Предположительно, оно способствует снижению энергопотребления, повышению производительности измельчителя и улучшению качества готового продукта. Для подтверждения эффективности данного метода измельчения были проведены экспериментальные исследования по двухстадийному измельчению зерна ячменя влажностью 11,4 %.

В качестве параметров оценки показателей процесса были выбраны:

Y_1 – производительность Q , m^3/h ;

Y_2 – мощность, затрачиваемая на осуществление процесса N , kWt ;

Y_3 – модуль помола M , mm ;

Y_4 – энергоемкость \mathcal{E} , $kWt \cdot h/m$.

На значение указанных параметров влияют многие факторы. Для первой ступени измельчения (вальцами) основными факторами являются: диаметр валцов, длина валцов, окружная скорость валцов, зазор между вальцами, 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 [8].

Наиболее эффективна оптимизация факторов, оказывающих максимальное влияние на параметры оценки показателей процесса и изменение которых не несет существенных преобразований в конструкции установки и незначительно удорожает экспериментальное исследование.

С учетом изложенного многофакторная зависимость имеет следующий вид [9]:

$$(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) = f(X_1, X_2, X_3),$$

где X_1 – зазор между вальцами b , мм;

X_2 – передаточное отношение валцов i ;

X_3 – диаметр отверстий в решетке d , мм.

Для имитации сочетания вальцового и молоткового рабочего органа исследование по изучению влияния выбранных параметров на производительность, качество плющения, потребляемую мощность и энергоёмкость процесса плющения производили на экспериментальной установке, включающей вальцовый измельчитель ИПЗ-3 (рисунок 40) и молотковую дробилку ИК-1 (рисунок 41). Данное решение позволяет в полной мере смоделировать процесс двухстадийного измельчения зерна, не прибегая к затратам на создание двухстадийной лабораторной установки [9].



Рисунок 40 – Общий вид вальцового измельчителя-плющилки зерна ИПЗ-3



Рисунок 41 – Общий вид молотковой дробилки ИК-1

Для описания процесса в стандартной зоне используем центральный полный факторный эксперимент (ЦПФЭ) типа 2^3 . Перед началом эксперимента исследуемые факторы были кодированы согласно зависимости:

$$x_i = \frac{X_i^{B,H} - X_{01}}{\varepsilon},$$

где x_i – кодированное значение фактора;

$X_i^{B,H}$ – натуральное значение факторов соответственно на верхнем и нижнем уровнях;

ε – натуральное значение интервала варьирования,

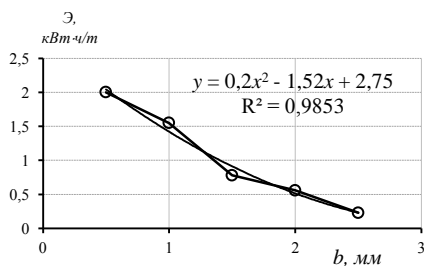
$$\varepsilon = (X_i^B - X_i^H)/2 \quad [10].$$

Значения факторов в кодированном и натуральном виде сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Значение факторов в кодированном и натуральном виде

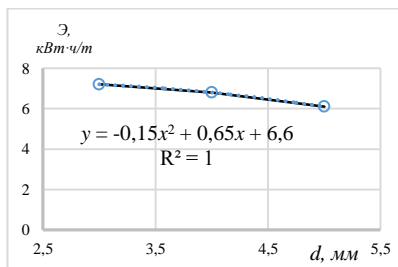
Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Зазор между вальцами, мм	x_1	0,5	1	1,5	2
Передаточное отношение вальцов	x_2	0,25	0,5	0,75	1
Диаметр отверстий в решетке	x_3	1	3	4	5

Наиболее значимым фактором для первой ступени измельчения является межвальцовый зазор, для второй – диаметр отверстий в решетке. На рисунке 42 представлены зависимости энергоёмкости для одностадийного измельчения. Диаграмма на рисунке 42а отображает зависимость энергоёмкости от величины межвальцового зазора для одностадийного измельчения вальцовым измельчителем. Диаграмма, представленная на рисунке 42б, отображает зависимость энергоёмкости от диаметра отверстий в решетке.



а)

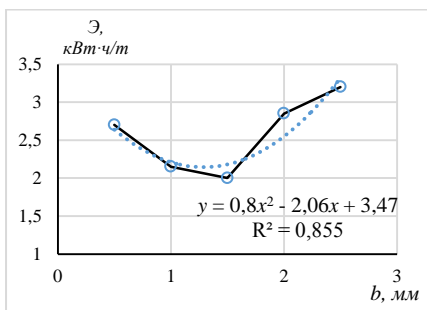
а) зависимость энергоёмкости от величины межвальцового зазора при измельчении вальцовой дробилкой; б) зависимость энергоёмкости от диаметра отверстий в решетке молотовой дробилки



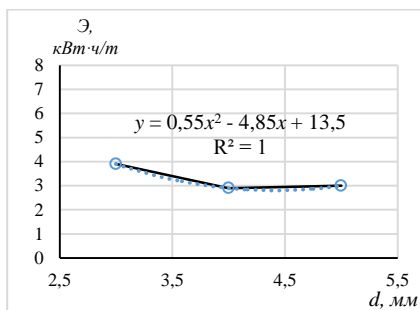
б)

Рисунок 42 – Зависимость энергоёмкости для одностадийного измельчения

На рисунке 43 представлены зависимости, показывающие воздействие на суммарную энергоёмкость двух стадий измельчения в двухстадийном измельчении: от межвальцового зазора – рисунок 43а и диаметра отверстий в решетке – рисунок 43б.



а)



б)

а) зависимость энергоёмкости от величины межвальцового зазора при $d = 5$, $i = 1,5:1$;

б) зависимость энергоёмкости от диаметра отверстий в решетке при $b = 2$, $i = 1:1$

Рисунок 43 – Зависимость энергоёмкости для двухстадийного измельчения

При сравнении влияния величины межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке при одностадийном (рисунок 42) и двухстадийном (рисунок 43) измельчении на энергоёмкость видно, что характер зависимостей различен.

При одностадийном вальцовом измельчении четко видно, что при увеличении межвальцового зазора происходит снижение энергоёмкости, это довольно известный факт, как и снижение энергоёмкости при увеличении диаметра отверстий в решетке при одностадийном измельчении молотковой дробилкой.

В двухстадийном измельчении прослеживается характер снижения энергоёмкости до оптимума, а затем ее повышение. Эта особенность объясняется тем, что в двухстадийном измельчении суммируется энергоёмкость обеих стадий, при этом обеспечивается минимальное потребление энергии в одной стадии измельчения и происходит перегрузка во второй стадии, что ведет к чрезмерному потреблению энергии.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 43, можно видеть, что оптимальный параметр межвальцового зазора для первой стадии составил $1,5$ мм, а оптимальный диаметр отверстия в решетке для второй стадии – 4 мм.

В соответствии с данными эксперимента получено адекватное уравнение регрессии первого порядка, описывающее зависимость энергоёмкости двухстадийного измельчения от величины межвальцового зазора, передаточного отношения вальцового измельчителя (первая степень измельчения) и диаметра отверстий в решетке молотковой дробилки (вторая степень измельчения):

$$y_1 = 2,818 + 0,363X_1 - 0,052X_2 - 0,381X_3 - 0,145X_{12}.$$

На основании полученного уравнения построены графические зависимости, поверхность отклика которых описывает зависимость энер-

гоемкости процесса измельчения от величины межвальцового зазора и передаточного отношения между вальцами (рисунок 44а), от диаметра отверстий в решетке и передаточного отношения между вальцами (рисунок 44б), от величины межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке (рисунок 44в)

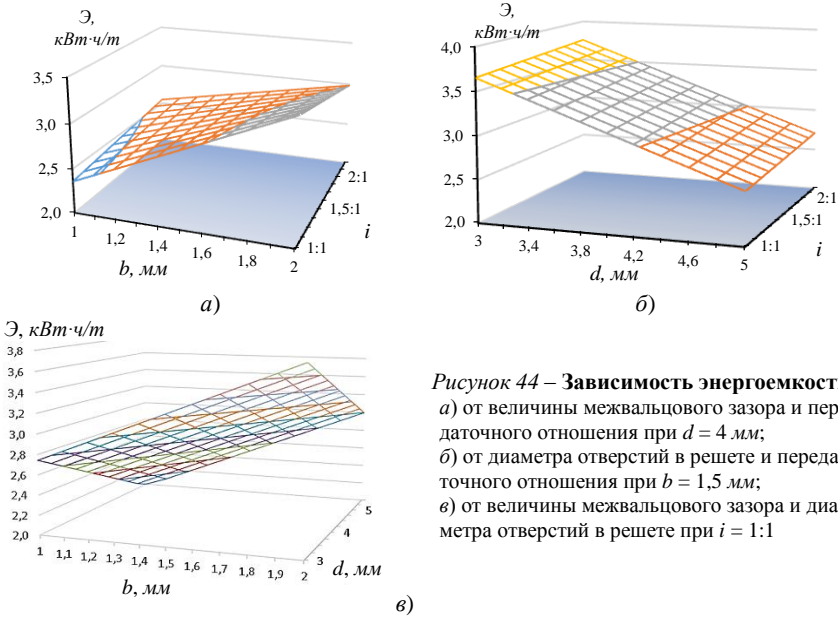


Рисунок 44 – Зависимость энергоемкости:
 а) от величины межвальцового зазора и передаточного отношения при $d = 4 \text{ мм}$;
 б) от диаметра отверстий в решетке и передаточного отношения при $b = 1,5 \text{ мм}$;
 в) от величины межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке при $i = 1:1$

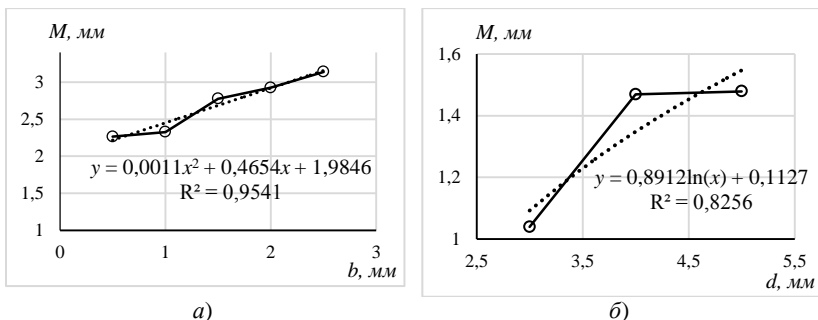
Проанализировав графические зависимости, представленные на рисунке 44, можно судить о том, что при увеличении межвальцового зазора первой ступени измельчения наблюдается значительный рост энергоемкости процесса измельчения, данная особенность объясняется увеличением загруженности второй ступени измельчения при увеличении межвальцового зазора первой стадии.

Из вышеприведенного анализа энергоемкости двухстадийного измельчения можно сделать вывод о том, что при двухстадийном измельчении основным потребителем энергии является вторая ступень измельчения. Поэтому одна из важных задач – выявить параметры работы первой ступени, которые могут максимально снизить энергоемкость процесса в целом.

Для более полной оценки двухстадийного измельчения проанализирован модуль помола.

На рисунке 45 представлены зависимости модуля помола для одностадийного измельчения: на рисунке 45а – от величины межвальцового

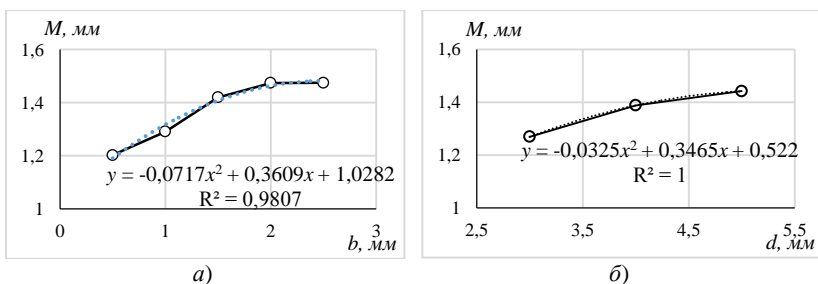
зазора для одностадийного измельчения вальцовой дробилкой; на рисунке 45б – от диаметра отверстий в решетке.



а) зависимость модуля помола от величины межвальцового зазора при измельчении вальцовой дробилкой; б) зависимость модуля помола от диаметра отверстий в решетке молотовой дробилки

Рисунок 45 – Зависимость модуля помола для одностадийного измельчения

Проанализировав зависимости модуля помола от межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке при одностадийном (рисунок 45) и двухстадийном измельчении (рисунок 46), можно сделать вывод о том, что при двухстадийном измельчении характер кривых схож с одностадийным, при этом видно существенное уменьшение модуля помола по сравнению с одностадийным измельчением вальцовой дробилкой.



а) зависимость модуля помола от величины межвальцового зазора;
б) зависимость модуля помола от диаметра отверстий в решетке

Рисунок 46 – Зависимость модуля помола для двухстадийного измельчения

В соответствии с данными, полученными в результате эксперимента, рассчитано адекватное уравнение регрессии первого порядка, определяющее зависимость модуля помола от величины межвальцового зазора, передаточного отношения вальцового измельчителя (первая ступень измельчения) и диаметра отверстий в решетке молотковой дробилки (вторая ступень измельчения):

$$y_2 = 1,311 + 0,082X_1 + 0,048X_2 + 0,083X_3.$$

На основании полученного уравнения построены графические зависимости, поверхность отклика которых описывает зависимость модуля помола от величины межвальцового зазора и передаточного отношения между вальцами (рисунок 47а), от диаметра отверстий в решетке и передаточного отношения между вальцами (рисунок 47б), от межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке (рисунок 47в)

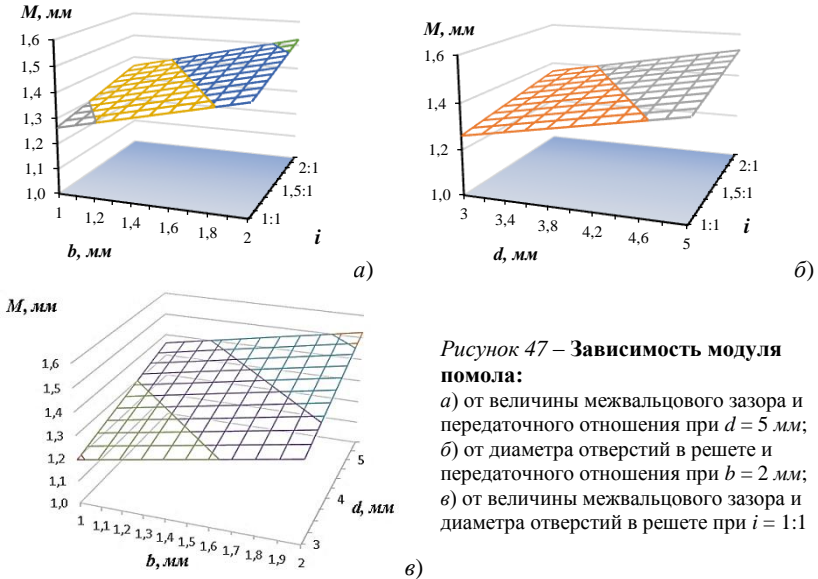


Рисунок 47 – Зависимость модуля помола:

- а) от величины межвальцового зазора и передаточного отношения при $d = 5$ мм;
- б) от диаметра отверстий в решетке и передаточного отношения при $b = 2$ мм;
- в) от величины межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке при $i = 1:1$

В ходе анализа графических зависимостей выявлено, что двухстадийное измельчение зерна дает средний модуль помола 1,2...1,5 мм, что оптимально подходит для свиней беконного откорма. При одностадийном вальцовом измельчении практически невозможно получить данный показатель, а при измельчении на молотковой дробилке для этого потребуется минимум в два раза больше энергозатрат.

В процессе исследования также было выявлено, что производительность второй ступени измельчения (молотковой дробилкой) при двухстадийном измельчении увеличивается в 1,5 раза по сравнению с одностадийным. В целом оценить производительность двухстадийного измельчения достаточно сложно, так как производительность первой и второй ступеней измельчения в лабораторной установке существенно отличается.

Для сравнительного анализа эффективности двухстадийного измельчения на рисунке 48 представлена зависимость энергоемкости от модуля помола для вальцового, молоткового и двухстадийного измельчения.

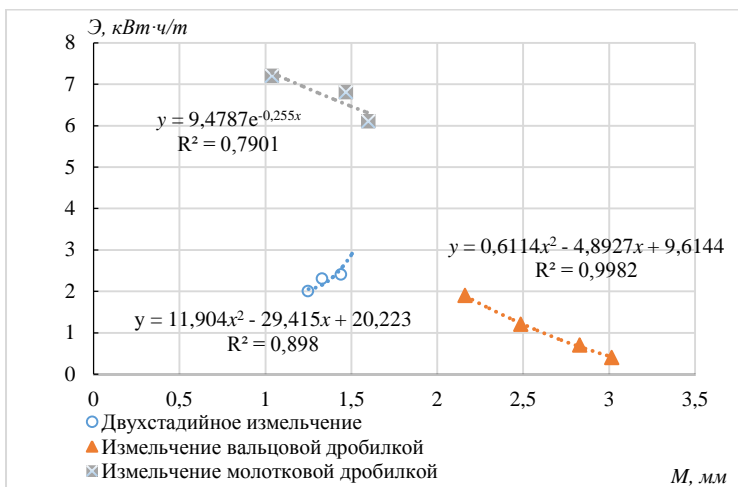


Рисунок 48 – Зависимость энергоемкости Э от модуля помола М

По данной зависимости можно сделать вывод, что при двухстадийном измельчении энергоемкость процесса в 1,7–2,2 раза ниже по сравнению с одностадийным при модуле помола 1,3–1,5 мм.

Заключение

По результатам проведенных опытов получены адекватные уравнения регрессии, описывающие изменение модуля помола и энергоемкости двухстадийного измельчения зерна в зависимости от величины межвальцового зазора, передаточного отношения валцов и диаметра отверстий в решетке молотковой дробилки.

Анализ полученных уравнений показал, что в исследуемом диапазоне факторов двухстадийное измельчение зерна дает средний модуль помола 1,2–1,5 мм и производительность молотковой дробилки второй стадии увеличивается в 1,5 раза по сравнению с одностадийной; при этом энергоемкость процесса примерно в 2 раза ниже энергоемкости измельчения зерна молотковой дробилкой.

01.09.2014

Литература

1. Дашков, В.Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23–28.
2. Афанасьев, В.А. Эффективность двухстадийного измельчения сырья при производстве комбикормов для животноводческих комплексов / А.В. Афанасьев, Л.А. Плаксина // Повышение эффективности технологических процессов производства комбикормов: сб. науч. тр. – М.: ЦНИИТЭИХлебопродуктов, 1990. – Вып. 34. – С. 43–49.

3. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.С. Дорофеев; Воронежский с.-х. институт. – Воронеж, 1967.
4. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.А. Одегов; Зон. Науч.-исслед. ин-т с/х Сев-Восточ. им Н.В. Рудницкого. – Киров, 2005. – 187 с.
5. Сундеев, А.А. Процесс измельчения фуражного зерна и его развитие / А.А. Сундеев // Механизация подготовки кормов в животноводстве: сб. науч. тр. – Воронеж: Изд-во ВСХИ, 1984. – С. 5–19.
6. Елисеев, В.А. Двухстадийные вальцовые мельницы / В.А. Елисеев, Н.С. Дорофеев // Сельскохозяйственное производство Северного Кавказа ЦЧО. – 1966. – № 1. – С. 76.
7. Шагдыров, И.Б. Технология и параметры многоступенчатых измельчителей фуражного зерна с внутренней сепарацией: дис. ... д.-ра техн. наук: 05.20.01 / И.Б. Шагдыров; ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова». – Новосибирск, 2013.
8. Воробьев, Н.А. Площение фуражного зерна вальцами с рифлено-ступенчатой рабочей поверхностью: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.А. Воробьев // БГАТУ. – Минск, 2009.
9. Дашков, В.Н. Методика обоснования параметров двухстадийного измельчителя зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Вестник БГСХА. – 2014. – № 2. – С. 190–193.
10. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

УДК 631.363.21

А.В. Вашула

*(ГУ «Белорусская МИС», п. Привольный,
Минская обл., Республика Беларусь);*

Н.А. Воробьев, А.В. Захаров,

В.Н. Савинных, С.А. Дрозд

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

**МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ
ТЕНЗОДАТЧИКА ПРИ
ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ
МЕЖВАЛЬЦОВОГО ЗАЗОРА
НА РАСПОРНОЕ УСИЛИЕ
МЕЖДУ ВАЛЬЦАМИ
ПЛЮЩИЛКИ**

Введение

Измерение сил, возникающих при работе сельскохозяйственных механизмов и машин, является необходимым условием совершенствования их конструкции. Немаловажным показателем при площении зерна является распорное усилие, воздействующее на вальцы плющилки. Исследование распорного усилия производится при помощи тензодатчиков, с предварительной калибровкой. При этом важно знать неопределенность измерения – численную величину измеряемого параметра и характеристику разброса значений измеряемой величины.