

## Заключение

Разработана математическая модель, описывающая взаимосвязь между возможными состояниями автотракторных двигателей и внешними признаками. Анализ причинно-следственных связей осуществляется на основе диагностических матриц, позволяющих выявлять цепь многочисленных взаимосвязей между внешним (диагностическим) признаком, причинами и неисправными системами двигателя, дефектами деталей. При дефектации деталей, диагностическая матрица позволяет прогнозировать техническое состояние сопряженных деталей сборочной единицы, без чего невозможно обеспечить высокое качество ремонта. По мере накопления информационной базы описания дефектов деталей и причин их возникновения повышается достоверность технического прогноза, методика позволяет повысить надежность работы машин за счет прогнозирования и своевременного устранения причин возникновения неисправностей.

## Список использованных источников

1. Северный, А. Э. Руководство по техническому диагностированию при техническом обслуживании и ремонте тракторов и сельскохозяйственных машин / А. Э. Северный, Д. С. Буклагин, В. М. Михлин [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 252 с.
2. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин по результатам диагностирования. – М.: Информагротех, 1995. – 64 с.
3. Петров, А. Д. Техническое диагностирование автомобилей: Учеб. пособие для сред. сел. проф.-техн. училищ. – М.: Высш. Школа, 1979. – 45 с.
4. ГОСТ 23435-79 Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров. М., 1979. – 8 с. Дата последнего изменения 12.09.2018.
5. Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие в 3 ч. Ч.1 Теоретические основы технической эксплуатации / Е. Л. Савич, А. С. Сай. – Мн., Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. – 427 с.
6. Баженов, Ю. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 4. – С. 16–21.
7. РД 26.260.004-91 Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. – М., 1991. – 98 с.
8. Способ определения остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания: а. с. 1682853 СССР, МКИ5 G 01 M 15/00 / Е. Н. Андрусенко.– № 972297; заявл. 22.05.89; опубл. 07.10.91 // *Открытия. Изобрет.* – 1991. – № 37.
9. Дунаев, А. В. Выбор методов и средств диагностирования цилиндропоршневой группы автотракторных двигателей / А. В. Дунаев // *Техника в сельском хозяйстве*, 2007. – № 6. – С. 25–28.
10. Способ определения остаточного ресурса цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания: пат. № 2479830 и № 2479831 Рос. Федерация: МПК G01M15/04 (2014.08) / Черноиванов В. И., Дунаев А. В., заявитель и патентообладатель ГОСНИТИ. – № 2011117414/06 и № 2011117415/06; заявл. 04.05.2011; опубл. 20.04.2013. – 8 с.

УДК 631.363

Поступила в редакцию 20.09.2019  
Received 20.09.2019

**Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд**

*БГАТУ  
г. Минск, Республика Беларусь*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В статье представлены результаты экспериментального исследования по разрушению зерна при динамическом воздействии. Получены уравнения регрессии описывающие зависимость степени деформации зерновки от скорости и силы воздействия на нее. На основании полученных уравнений построены и проанализированы графические зависимости, показывающие влияние силы и скорости на степень деформации зерна, анализ которых позволил сделать вывод о том, что скорость воздействия на зерновку оказывают существенное воздействие на степень деформации зерновки. В процессе исследования установлено, что при динамическом разрушении зерновки сила сжатия для всех видов исследуемого зерна ниже, чем при статическом разрушении.

*Ключевые слова:* зерно, разрушение, динамическое воздействие, регрессионный анализ.

## EXPERIMENTAL STUDY OF GRAIN DESTRUCTION DURING DYNAMIC INFLUENCE

The article presents the results of an experimental study on the destruction of grain under dynamic impact. The regression equations are obtained that describe the dependence of the degree of deformation of the caryopsis on the speed and force of action on it. Based on the obtained equations, graphical dependencies are constructed and analyzed, showing the influence of force and speed on the degree of grain deformation, the analysis of which allowed us to conclude that the speed of action on the grain has a significant effect on the degree of deformation of the grain. During the study, it was found that with dynamic destruction of the grain, the compression force for all types of the studied grain is lower than with static destruction.

*Keywords:* grain, destruction, dynamic impact, regression analysis.

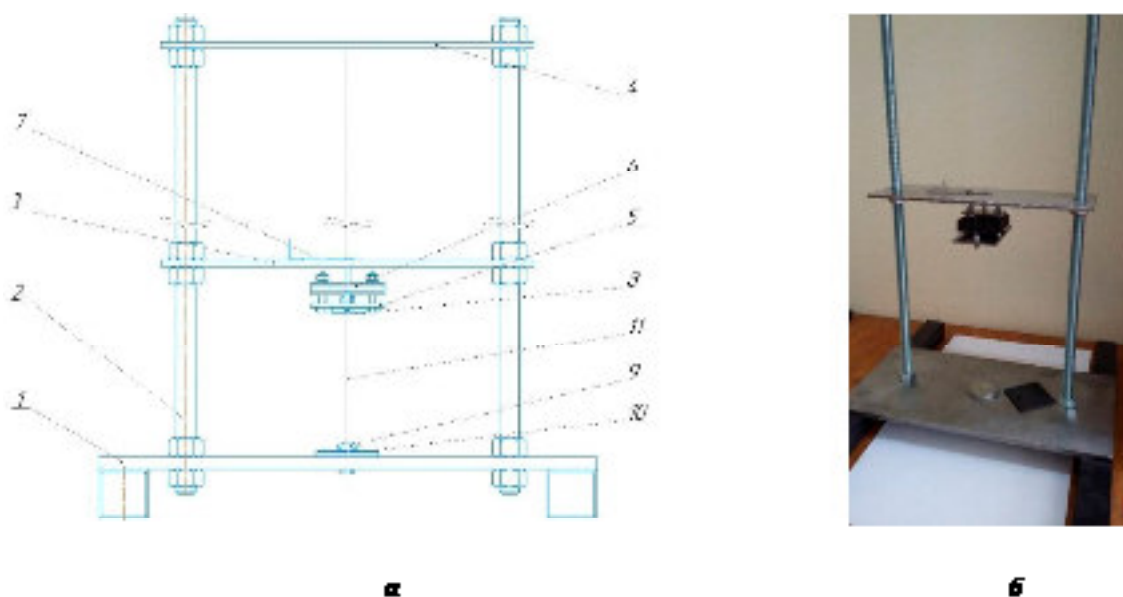
### Введение

Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна [1,2]. Применяемые в настоящее время технические средства для измельчения фуража имеют: высокие удельные энергозатраты, низкий процент содержания требуемой фракции в измельченном виде, невысокую производительность измельчающего оборудования [3].

Разрушение зерна происходит за счет статического и динамического воздействия рабочих органов технических средств для измельчения. Нами был исследован процесс разрушения фуражной массы при динамическом воздействии.

### Основная часть

Для получения достоверных данных о деформации различных зерновых культур при динамическом воздействии был разработан и изготовлен стенд (см. рис. 1).



1 – основание; 2 – стойка; 3 – рабочая пластина; 4 – верхняя пластина; 5 – платформа; 6 – груз;  
7 – спусковой механизм; 8 – боек; 9 – исследуемое зерно; 10 – предметный столик; 11 – направляющая леска  
Рис. 1. – Схема (а) и внешний вид (б) стенда для исследования деформации зерна при динамическом воздействии

Задача исследования заключается в установлении зависимости степени деформации зерна от скорости и силы воздействия при динамическом разрушении.

Принцип работы стенда заключается в сбрасывании платформы 5 с различной массой груза 6 и с различной высоты при помощи спускового механизма 7, которая движется по направляющей

леске 11 и совершает динамический удар бойком 8 по исследуемому зерну 9, расположенному на предметном столике 10, что приводит к его разрушению.

Скорость ( $v$ ) и сила ( $F$ ), с которой груз оказывает деформирующее воздействие на зерно, без учета сопротивления воздуха, определяются по следующим зависимостям:

$$v = \sqrt{2gh}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

$$F = mg, \text{ Н}, \quad (2)$$

где  $h$  – высота, на которой находится сбрасываемый груз, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m$  – масса сбрасываемого груза, кг.

Степень деформации зерна рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_n - l_k}{l_n}, \quad (3)$$

где  $l_n$  – начальный линейный размер зерна до оказания динамического воздействия, м;

$l_k$  – конечный линейный размер зерна после оказания динамического воздействия, м.

Использование стенда позволило осуществить исследование зависимости степени деформации зерна  $\varepsilon$  от силы  $F$  и скорости воздействия  $v$  при динамическом сжатии (см. табл. 1)

$$\varepsilon = f(F, v). \quad (4)$$

Таблица 1. – Значения факторов в кодированном и натуральном виде

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Скорость удара, м/с	$X_1$	1,0	0,4	1,4	2,4
Сила удара, Н	$X_2$	2	3	5	7

Исследования влияния скорости и силы на степень деформации зерна проведены на зернах ячменя, пшеницы, тритикале, овса с влажностью 14% с числом дублей в каждом опыте равным четырем.

Обработка экспериментальных данных позволила получить адекватные регрессионные уравнения для различных видов зерна [4]:

$$\text{– ячменя} \quad y_1 = 40,24 + 31,56X_1 + 4,62X_2 - 11,0X_1^2; \quad (5)$$

$$\text{– пшеницы} \quad y_2 = 53,51 + 21,13X_1 + 4,97X_2 - 11,1X_1^2; \quad (6)$$

$$\text{– тритикале} \quad y_3 = 50,01 + 27,18X_1 + 5,73X_2 - 6,3X_1X_2 - 11,8X_1^2 - 5,2X_2^2; \quad (7)$$

$$\text{– овса} \quad y_4 = 46,58 + 27,46X_1 + 6,74X_2 - 4,2X_1X_2 - 4,7X_1^2. \quad (8)$$

На основании полученных уравнений построены поверхности отклика (см. рис. 2–5), характеризующие зависимость степень деформации зерна  $\varepsilon$  от значимых факторов: силы  $F$  воздействия и скорости воздействия  $v$ .

С целью получения различных степеней деформации зерна определим необходимые при этом значения скорости деформации и силы при помощи полученных уравнений 5–8. Целевая функция в данном случае выступает степень деформации зерна, изменяемая в диапазоне от 40 % до 90 % с шагом 10%. Получены значения необходимой скорости деформации и силы воздействия для зерна ячменя и пшеницы сведем в табл. 2.

Анализ полученного уравнения 5 показывает, что при деформации зерна ячменя с увеличением скорости с 0,9 до 2,4 м/с степень деформации увеличивается с 20% до 76% при нагрузке 3Н (для сравнения: при статическом сжатии для достижения деформации 70 % необходимо

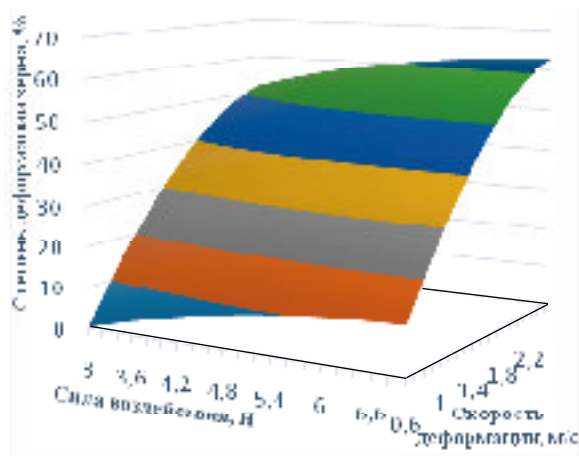


Рис. 2 – Зависимость степени деформации зерна от скорости и силы воздействия для ячменя

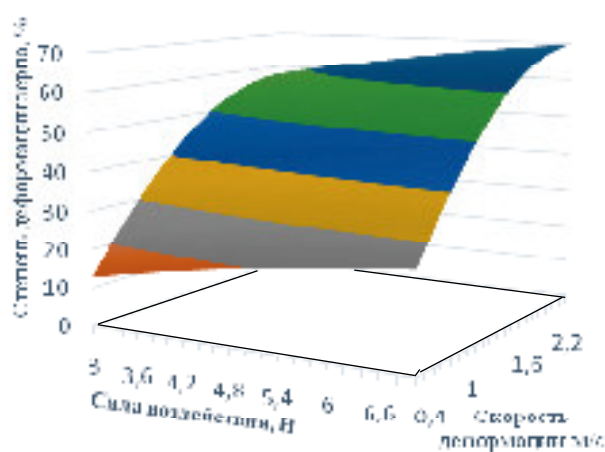


Рис. 3 – Зависимость степени деформации зерна от скорости и силы воздействия для пшеницы

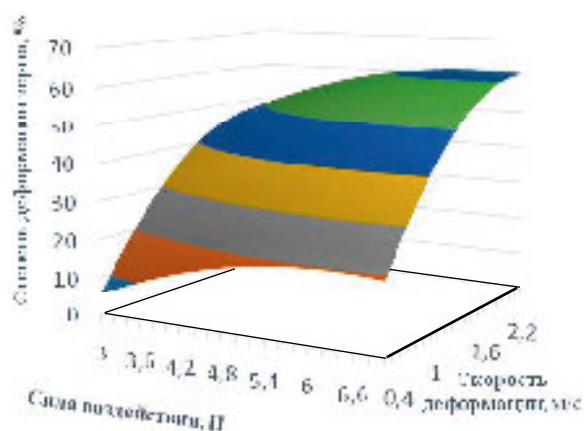


Рис. 4 – Зависимость степени деформации зерна от скорости и силы воздействия для тритикале

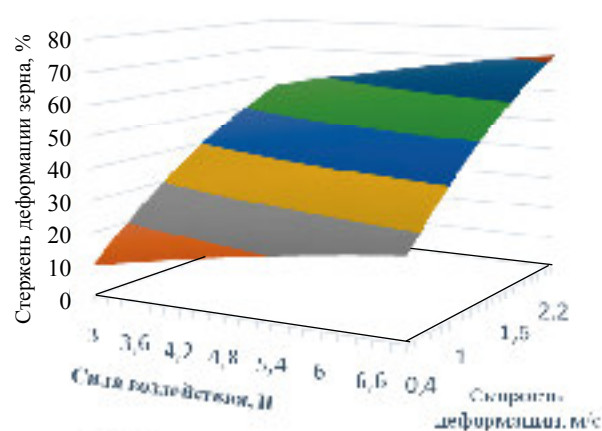


Рис. 5 – Зависимость степени деформации зерна от скорости и силы воздействия для овса

Т а б л и ц а 2. – Значение скорости деформации и силы воздействия при различной степени деформации

Степень деформации	Ячмень		Пшеница	
	$v$ , м/с	$F$ , Н	$v$ , м/с	$F$ , Н
90%	2,4	7,0	2,4	7,0
80%	2,2	6,9	2,1	7,0
70%	2,0	6,9	1,8	7,0
60%	1,8	6,7	1,5	7,0
50%	1,6	6,3	1,4	3,4
40%	1,4	5,2	0,7	3,4

оказать на зерно нагрузку, равную 870 Н [5]). Увеличение нагрузки при динамическом воздействии с 3 до 7 Н при скорости 2,4 м/с способствует повышению степени деформации зерна с 76% до 90%. Дальнейшее увеличение скорости и силы воздействия нецелесообразно, т. к. необходимая степень деформации достигается при скорости 2,4 м/с и усилении 7 Н.

Анализ полученных уравнений 6–8 показывает, что на зернах пшеницы, тритикале, овса прослеживается аналогичная тенденция деформации как на зернах ячменя.

### Заключение

Проведено экспериментальное исследование по разрушению зерна при динамическом воздействии. Получены уравнения регрессии описывающие зависимость степени деформации зерновки от скорости и силы воздействия на нее. На основании полученных уравнений построены

и проанализированы графические зависимости, показывающие влияние силы и скорости на степень деформации зерна, анализ которых позволил сделать вывод о том, что скорость воздействия на зерновку оказывают существенное воздействие на степень деформации фуража.

В процессе исследования разрушения семени при динамическом сжатии определено, что увеличение скорости воздействия при деформации зерна позволяет существенно снизить силу воздействия. Это факт позволяет сделать вывод о том, что необходимо увеличивать скорость деформации зерна в технологическом оборудовании, применяемом для его измельчения. Получены значения скорости воздействия для обеспечения различной степени деформации, которые могут быть использованы при создании и модернизации оборудования для измельчения фуража.

### Список использованных источников

1. Шило, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. – Минск : БГАТУ, 2003. – 183 с.
2. Афанасьев, В. А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В. А. Афанасьев [и др.]. – Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт». – 2007. – 389 с.
3. 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.
4. 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.
5. Дрозд, С. А. Исследование разрушения зерна при статическом сжатии / С.А. Дрозд // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 36–40.

УДК 631.316(476)

Поступила в редакцию 11.10.2019  
Received 11.10.2019

**А. И. Филиппов<sup>1</sup>, Э. В. Заяц<sup>1</sup>, А. А. Аутко<sup>1</sup>, Н. Д. Лепешкин<sup>2</sup>, В. П. Чеботарев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>УО «Гродненский государственный аграрный университет»,  
г. Гродно, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь

### РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЁМНОГО ВНЕСЕНИЯ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ

В данной статье приводятся технические и конструктивные параметры разработанного и предложенного нами оборудования для объёмного внесения рабочих растворов. Данное оборудование рекомендуется для использования:

в составе культиватора при междурядной обработке или в качестве отдельной сельскохозяйственной машины при возделывании картофеля;

борьбе с колорадским жуком, другими вредителями и болезнями растений, которые находятся в основном на нижней части листьев;

качественной обработки картофельного куста биологическими препаратами, подкормки жидкими минеральными удобрениями, а это одна из актуальных задач при возделывании экологически чистого картофеля.

*Ключевые слова:* оборудование, объёмное внесение, гряды, картофель, растения, агрегат, рабочие органы, обработка, экологическое земледелие.