

## Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы

**Виктор Петрович Забродин**, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация;  
**Александр Федорович Бутенко**, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация,  
**Майя Викторовна Суханова**, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация, e-mail: m\_suhanova@list.ru;

**Сергей Максимович Чепцов**, аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-07-00372, гранта РФФИ N17-01-00323.*

Проблемы травмирования семян приобрели острую актуальность в связи с применением машин на всех этапах уборки и обработки зерновых культур. Высокий процент поврежденных при механической обработке семян значительно снижает количество и качество урожая. *(Цель исследования)* Определить ударное воздействие механического устройства на образцы зерновки озимой пшеницы и его влияние на биологический потенциал семян в рамках решения задачи по сохранению целостности зернового материала. *(Материалы и методы)* Выявили степень дробления и микроповреждений зерен при механическом ударе о стальную пластину модельной установки без полимерного покрытия и с ним. Провели эксперимент с помощью специальной упрощенной моделирующей установки, позволяющей создать условия ударного воздействия на исследуемый образец зерновки пшеницы, приближенные к реальным, для получения объективных и научно обоснованных данных. Определили влияние на зерно ударного механического воздействия, характерного для посевных и уборочных работ. Теоретически обосновали способ снижения потерь зернового материала и повышения качества его обработки. *(Результаты и обсуждение)* Установили, что при ударе о стальную поверхность с полимерным покрытием процент дробления зерновок снижается более чем в 7-10 раз, микроповреждения зародыша зерна пшеницы – в 4-5 раз. Подвели теоретическую базу для обоснования полученных экспериментальных результатов. Определили влияние траектории движения зерна на его целостность. Показали, что снижение частоты дробления оболочки зерна и микроповреждений зародыша семян при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием обусловлено уменьшением потенциальной энергии деформации семени. *(Выводы)* Получили, что при ударе о стальную поверхность частицы почти вся потенциальная энергия накапливается в ней, так как модуль упругости поверхности в десятки тысяч раз больше модуля упругости частицы (зерна, семени). При ударе о стальную поверхность с полимерным покрытием доля накопленной частицей потенциальной энергии снижается почти в тысячу раз. Таким образом, применение полимерного покрытия будет способствовать снижению потерь зерна при его механической обработке, что в целом должно способствовать повышению качества урожая зерновых культур.

**Ключевые слова:** механический удар, дробление зерна, микроповреждение оболочки и зародыша семени, полимерное покрытие, сельскохозяйственные машины.

■ **Для цитирования:** Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М. Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 14-18. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-14-18

## Research of Impact by Mechanical Device on Winter Wheat Seeds

**Viktor P. Zabrodin**, Dr. Sc. (Eng.), professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

**Aleksandr F. Butenko**, PhD (Eng.), associate professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

**Maya V. Sukhanova**, PhD (Eng.), associate professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

**Sergey M. Cheptsov**, PhD Student, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation

*This work was supported by RFBR (RFFI) grants, 17-07-00372, 17-01-00323.*

Problems of seed damage have become important in connection with the use of machines at all stages of harvesting and processing of crops. The high percentage of damaged seeds in machining significantly reduces the quantity and quality of the crop harvest. (*Purpose of the study*) The impact of the mechanical device on the samples of winter wheat grains and its impact on the biological potential of seeds were studied in solving the problem of preserving the integrity of the grain material. (*Materials and methods*) The degree of crushing and micro-damage of grains under mechanical impact on the steel plate of the model plant without and with a polymer coating was revealed. The experiment was carried out with the help of simulation system, which allows to create conditions of impact on the studied sample of wheat grains, close to the real one, to obtain objective and scientifically based data. The influence of mechanical impact typical for sowing and harvesting operations on grain was determined. A way to reduce losses of grain material and improve the quality of its processing was theoretically proved. (*Results and discussion*) It was found that when hitting the steel surface with a polymer coating, the percentage of grain crushing is reduced by more than 7-10 times, the micro – damage of the wheat germ is reduced 4-5 times. We summed up the theoretical basis for substantiation of the obtained experimental results. The influence of the trajectory of the grain on its integrity was determined. It was shown that the decrease in the frequency of crushing of the grain shell and micro-injuries of the seed embryo when hitting the steel plate with a polymer coating is due to a decrease in the potential energy of deformation of the seed. (*Conclusions*) It was found that almost all the potential energy accumulates in the steel surface of the particle, as the modulus of elasticity of the surface is tens of thousands of times greater than the modulus of elasticity of the particle (grain, seed). Upon impact on the steel surface with a polymer coating, the proportion of accumulated particle potential energy is reduced by almost a thousand times. Thus, the use of a polymer coating will reduce the loss of grain during its machining, which in general should improve the quality of the crop.

**Keywords:** Mechanical blow, Shock influence, Crushing of seeds, Microdamages of seeds, Polymeric covering, Farm vehicles.

**For citation:** Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M. Research of impact by mechanical device on winter wheat seeds. *Selskokhosyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018; Vol. 12; 2: 14-18. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-14-18. (In Russian).

**В** процессе уборки и послеуборочной обработки, а также при подготовке зерновых культур к посеву семена подвергаются механическому воздействию со стороны рабочих органов машин. Вследствие этого нарушается целостность оболочки зерна или его зародыша, что приводит к изменению биоэнергетического потенциала семян [1, 2, 6].

Исследованиями доказано, что реакция биосистемы в зависимости от степени внешнего воздействия может сопровождаться как снижением, так и ростом биоэнергетического потенциала [3, 4].

**Цель исследования** – определить влияние механического удара на целостность семян зерновых культур и, как следствие, их биоэнергетический потенциал.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Для оценки влияния скорости удара на свойства семян зерновых культур использована авторская экспериментальная моделирующая установка, состоящая из блока питания 1 с манометром и датчиками скорости, трубопровода 3, по которому потоком воздуха, нагнетаемым компрессором 2, зерно перемещается к металлической пластине, закрепленной на блоке регистра-

ции 4 импульсного ударного взаимодействия ударяемого зерна и рабочей поверхности (рис. 1).

В качестве испытуемого материала были отобраны пробы семян озимой пшеницы сорта Адель, предварительно не подвергавшиеся механическому воздействию.

В ходе исследования была поставлена задача

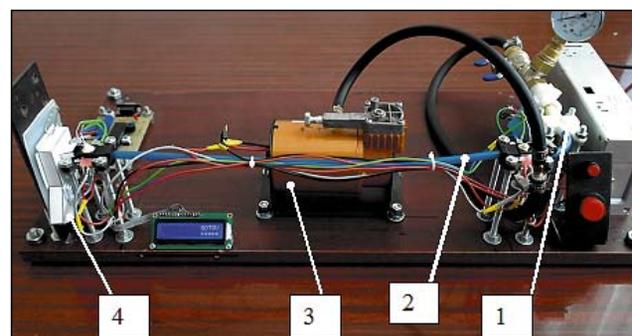


Рис. 1. Имитационный стенд для определения импульсного ударного воздействия поверхностей различной жесткости на зерно

Fig. 1. Simulation stand for determination of pulsed impact on grain by surfaces of different hardness

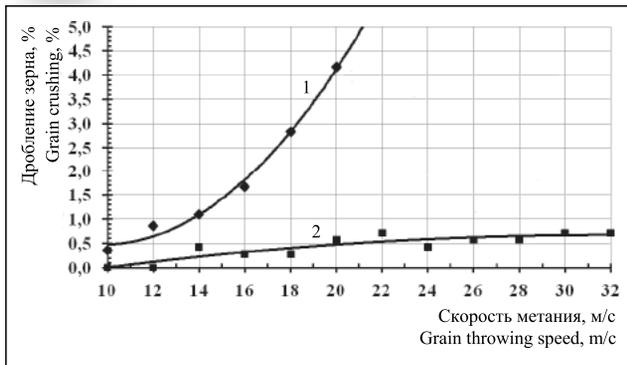


Рис. 2. Зависимость дробления зерна от скорости метания при ударе о стальную пластину без полимерного покрытия (1) и с полимерным покрытием (2)  
 Fig. 2. Dependence of the crushing of grain on the speed of the throwing when hitting a steel plate without a polymer coating (1) and polymer coating (2)

определить влияние степени дробления и микроповреждений семян на изменение биоэнергетического потенциала семян [7-10]. Показатели дробления частиц и всхожести образцов зерновки определяли по стандартным методикам. Биоэнергетический потенциал испытуемого материала оценивали по показателю всхожести проращиваемой пробы в лабораторных условиях. В качестве отражающих поверхностей использовали стальную пластину с полимерным покрытием и без него.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** График зависимости дробления зерна от скорости метания при столкновении с металлической поверхностью без полимерного покрытия и с ним приведен на *рисунке 2*.

Анализ зависимости дробления зерна от скорости метания позволяет заключить, что на целостность семян значительное влияние оказывает материал отражающей поверхности.

График зависимости роста микроповреждений зародыша зерновок от скорости метания, приведенный на *рисунке 3*, построен на основании статистической обработки экспериментальных данных из 700 повторностей. В ходе эксперимента получили, что при ударе о стальную пластину со скоростью метания зерна 20 м/с максимальный показатель дробления частиц составил 4,2%, а при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием с той же скоростью не превысил 0,6%, то есть во втором случае процент микротравмирования зерн в 7 раз ниже.

На *рисунке 3* приведены графики зависимости увеличения микроповреждения зародыша зерновок по сравнению с исходным материалом по данным 200 повторностей.

Анализ зависимостей, представленных на *рисунке 3*, показал, что процент микроповреждений зародыша зерна пшеницы при ударе о стальную пластину без покрытия в 4-5 раз выше по сравне-

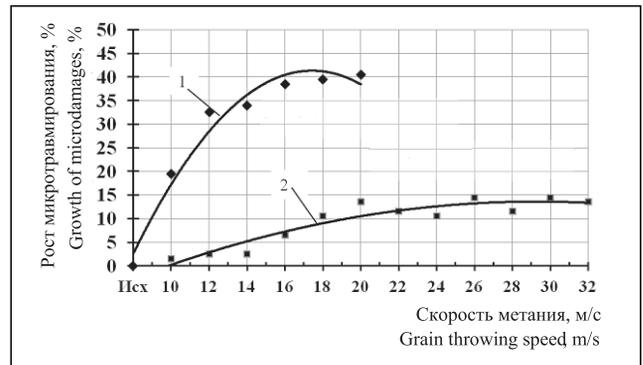


Рис. 3. Зависимость роста микроповреждений зародыша зерновок от скорости метания о стальную отражающую пластину без покрытия (1) и о пластину с покрытием (2)  
 Fig. 3. Dependence of micro-damages growth of a grain germ in comparison with initial material from speed throwing a steel plate without a polymer coating (1) and polymer coating (2)

нию с аналогичным показателем при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием. При этом дальнейшее увеличение скорости удара семени о пластину с полимерным покрытием до 32 м/с не оказывает значительного влияния на показатель дробления частиц.

Снижение степени дробления частиц и микроповреждений зародыша зерна при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием обусловлено уменьшением потенциальной энергии деформации. При ударе часть кинетической энергии частицы, движущейся со скоростью  $V_{ч}$ , преобразуется в потенциальную энергию деформации, а часть кинетической энергии возвращается частице после отражения. Уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$U = T_{п} - T_{от}, \quad (1)$$

где  $U$  – потенциальная энергия деформации частицы и отражающей поверхности, Дж;  $T_{п}$  – кинетическая энергия падения, или кинетическая энергия частицы до удара, Дж;  $T_{от}$  – кинетическая энергия отражения, или кинетическая энергия частицы после удара, Дж.

Потенциальная энергия деформации частицы и отражающей поверхности  $U$  определится по известным зависимостям механики деформируемого тела:

$$U_{ч} = \frac{P_{д} \Delta l_{ч}}{2}, \quad U_{п} = \frac{P_{д} \Delta l_{п}}{2}, \quad (2)$$

где  $U_{ч}$  – потенциальная энергия деформации частицы, Дж;  $U_{п}$  – потенциальная энергия деформации поверхности, Дж;  $P_{д}$  – сила динамического воздействия на частицу и поверхность, Н;  $\Delta l_{ч}$  – абсолютная деформация частицы, мм;  $\Delta l_{п}$  – абсолютная деформация поверхности, мм.

Абсолютные значения деформации частицы  $\Delta l_{ч}$  и деформации поверхности  $\Delta l_{п}$  связаны с размера-



ми и коэффициентом жесткости частицы и материала выражениями, согласно теории механики деформируемого тела:

$$\Delta l_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{д}} c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}}, \quad \Delta l_{\text{п}} = \frac{P_{\text{д}} \Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где  $c$  – толщина зерновки, мм;  $E_{\text{ч}}, E_{\text{п}}$  – модули Юнга частицы и поверхности соответственно, МПа;  $F_{\text{ч}}, F_{\text{п}}$  – площади деформированной поверхности частицы и отражающей поверхности, мм<sup>2</sup>;  $\Delta_{\text{п}}$  – толщина деформированной поверхности, мм.

Подставив абсолютные значения деформации (3) в выражения потенциальной энергии (2), получим:

$$U_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{д}}^2 c}{2 E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}}, \quad U_{\text{п}} = \frac{P_{\text{д}}^2 \Delta_{\text{п}}}{2 E_{\text{п}} F_{\text{п}}}. \quad (4)$$

Кинетическая энергия, накопленная частицей в момент удара, примет вид:

$$T_{\text{ч}} = \frac{m_{\text{ч}} v_{\text{y}}^2}{2}, \quad (5)$$

где  $m_{\text{ч}}$  – масса частицы, г;  $v_{\text{y}}$  – скорость частицы в момент удара, м/с.

По мнению исследователей, вся кинетическая энергия расходуется на деформацию частицы и отражающей поверхности, то есть  $T_{\text{от}} = 0$  [1, 2].

Однако часть кинетической энергии возвращается частице после отражения от поверхности. Учитывая, что скорость отражения связана со скоростью удара  $v_{\text{y}}$  соотношением:

$$v_{\text{от}} = v_{\text{y}} k_{\text{в}}, \quad (6)$$

где  $k_{\text{в}}$  – коэффициент восстановления.

Кинетическая энергия частицы после отражения будет равна:

$$T_{\text{от}} = \frac{m v_{\text{y}}^2 k_{\text{в}}^2}{2}. \quad (7)$$

Преобразовав выражения (7) и (1), получим формулу расчета потенциальной энергии, накопленной частицей и отражающей поверхностью:

$$U = \frac{m v_{\text{y}}^2}{2} (1 - k_{\text{в}}^2). \quad (8)$$

Приравнявая правые части выражений (4) и (8),

при  $U = U_{\text{ч}} + U_{\text{п}}$ , получим:

$$m v_{\text{y}}^2 (1 - k_{\text{в}}^2) = P_{\text{д}}^2 \left( \frac{c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}} + \frac{\Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}} \right). \quad (9)$$

Проанализируем содержимое в скобках правой части выражения (9). Первое слагаемое характеризует часть потенциальной энергии, накопленную частицей, а второе – часть энергии, отражаемой поверхностью. Определим долю потенциальной энергии, накопленную частицей при ударе об отражающую поверхность:

$$\left( \frac{c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}} / \frac{\Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}} \right) = \frac{E_{\text{п}} F_{\text{п}} c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}} \Delta_{\text{п}}}. \quad (10)$$

На долю накопленной потенциальной энергии частицей наибольшее влияние оказывает материал отражающей поверхности.

По данным, модуль Юнга для частиц зерна находится в пределах (10-40) МПа. Модуль Юнга отражающей поверхности зависит от ее материала: для стали в среднем он составляет  $2 \cdot 10^5$  МПа, а для полимерного покрытия –  $(2-3) \cdot 10^2$  МПа [5].

При ударе частицы о стальную поверхность почти вся потенциальная энергия накапливается в частице, так как отношение модуля Юнга поверхности  $E_{\text{п}}$  к модулю Юнга частицы  $E_{\text{ч}}$  составляет  $(0,5-2) \cdot 10^4$ .

При ударе частицы о стальную поверхность с полимерным покрытием доля накопленной частицей потенциальной энергии снижается почти в тысячу раз.

Кроме этого, доля накопленной частицей потенциальной энергии зависит от толщины полимерного покрытия и снижается пропорционально толщине  $\Delta_{\text{п}}$  покрытия.

### Выводы

Исследование влияния ударного воздействия на семена зерновых культур показало, что использование полимерных материалов в качестве покрытия поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин позволяет уменьшить накопленную потенциальную энергию и, как следствие, снизить дробление зерновок более чем в 7-10 раз, а также уменьшить микрповреждения зародышей семян зерновых культур.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руских В. Уменьшаем травмирование зерна, повышаем его урожайность // *Комбикорма*. 2010. №7. С. 417-420.
2. Бутенко А.Ф., Максименко В.А. Анализ травмирования семян зерновых культур // *Исследования и разработка эффективных технологий и технических средств для животноводства*: Сборник. зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2004. С. 75-83.
3. Нефедьева Е.Э. Давление как фактор регуляции у рас-

- тений: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 133 с.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства – одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения // *Состояние и развитие регионального машиностроения*. М.: 2010. С. 96-103.
5. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method,

China Forestry Economy, 2007, 9: 19-22.

6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. М.: ВИМ, 2013. С. 7-10.

7. Суханова М.В., Суханов А.В. Предпосылки создания гибридной нечеткодинамической модели слабо формализованных эластичных систем смешивания // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: Материалы Международной научно-практической

конференции, 30 сентября 2014 г., Россия, Санкт-Петербург. С. 45-50.

8. Иванов А.П. Динамика систем с механическими соударениями. М.: Международная программа образования, 2017. 336 с.

9. Kovalev S., Sukhanov A., Sukhanova M., Sokolov S. Adaptive approach for anomaly detection in temporal data based on immune double-plasticity principle // Proceedings of the Second International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry». 2017; 1: 234-243.

10. Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. Handbook on data envelopment analysis. 2nd ed. New York, USA: Springer, 2011: 497.

### REFERENCES

1. Ruskikh V. Reduce grain damage, we raise its productivity / Compound feed N7, Moscow. 2010: 417-420.

2. Butenko A.F., Maximenko V. A. Analysis of seed damages of grain crops. Researches and development of effective technologies and technical means for livestock production. Collection of scientific works of. FSBSI NCSRIMEA Zernograd, 2004: 75-83. (In Russian).

3. Nefedyeva E.E. Pressure as a regulation factor at plants: monograph / Moscow – Berlin: Direkt-media, 2015: 133. (In Russian).

4. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. Development of machinery production for breeding and seed growing is one of priority tasks of agricultural engineering // The State and development of regional engineering scientific publication. Moscow, 2010: 96-103. (In Russian).

5. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method, China Forestry Economy, 2007, 9: 19-22, 38.

6. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. System of technologies and machinery for innovative development of agroindustrial complex of Russia // System of technologies and machinery for innovative development of agroindustrial complex of Russia.

Collection of scientific reports of the International scientific conference devoted to the 145 anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics academician V.P. Goryachkin. All-Russian Research Institute of Mechanization of Agriculture. 2013: 7-10. (In Russian).

7. Sukhanova M.V., A.V. Sukhanov. The background of a hybrid fuzzy dynamic model of poorly formalized flexible mixing systems. *Fundamental and applied research in the modern world*: Materials of the International scientific and practical conference held on 30 September 2014, Russia, St. Petersburg: 45-50. (In Russian).

8. Ivanov A.P. The dynamics of systems with mechanical collisions. M.: International Education Program, 2017: 336. (In Russian).

9. Kovalev S., Sukhanov A., Sukhanova M., Sokolov S. Adaptive approach for anomaly detection in temporal data based on immune double-plasticity principle. Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”. 2017: 1. 234-243. (In Russian).

10. Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. Handbook on data envelopment analysis. 2nd ed. New York, USA: Springer, 2011: 497. (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.