

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО/GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.2>

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И СОХРАНЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ПЕРИОД ХРАНЕНИЯ

Научная статья

Ступин А.С.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-0548-6313;¹ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stupin32[at]yandex.ru)

Аннотация

Механическое повреждение семян зерновых культур является одной из важных проблем при уборке урожая и послеуборочной обработке. Во время уборки и переработки семена особенно подвержены ударам, сдавливанию и истиранию. Эти повреждения могут привести к поломке, растрескиванию и сколам, что нарушает как физическую, так и физиологическую целостность семян. Поврежденные семена имеют более низкое качество и уязвимы для нападения насекомых и плесени, что увеличивает потери в процессе их хранения. Качество семян обычно отражается в их жизнеспособности, которая представляет собой совокупность свойств, определяющих потенциальный уровень активности и производительности семян во время прорастания и появления всходов. С учетом отмеченного, задачи контроля за обработкой зерна и усовершенствованием сопровождающих механических процессов с целью повышения устойчивости семенного материала являются теоретически и практически значимыми. Статья посвящена рассмотрению вопросов, связанных с механическими повреждениями и сохранением жизнеспособности семян зерновых культур в период хранения. Отдельное внимание в процессе исследования уделено классификации механических повреждений семян. Кроме того, проанализирована корреляция между повреждением семян зерновых культур с энергией их прорастания и всхожестью.

Ключевые слова: семена, зерновые культуры, всхожесть, обработка, повреждение, обмолот, хранение, трещины, сколы.

MECHANICAL DAMAGE AND VIABILITY OF GRAIN CROP SEEDS DURING STORAGE

Research article

Stupin A.S.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-0548-6313;¹ Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation

* Corresponding author (stupin32[at]yandex.ru)

Abstract

Mechanical damage to cereal seeds is one of the major problems during harvesting and post-harvest processing. During harvesting and processing, seeds are particularly susceptible to impact, crushing and abrasion. This damage can lead to breakage, cracking and chipping, which impairs both the physical and physiological integrity of the seeds. Damaged seeds are of lower quality and vulnerable to insect and mould attack, which increases losses during storage. Seed quality is usually reflected in its viability, which is a combination of properties that determine the potential level of activity and performance of seeds or a batch of seeds during germination and emergence. Given the above, the task of controlling seed processing and improving mechanical processes to increase seed stability is theoretically and practically significant. This article is devoted to issues related to mechanical damage and the preservation of the viability of cereal seeds during storage. Special attention is paid to the classification of mechanical damage to seeds. In addition, the correlation between damage to grain crops and their germination energy and germination capacity is analysed.

Keywords: seeds, grain crops, germination capacity, treatment, damage, threshing, storage, cracks, chips.

Введение

Зерновые культуры являются неотъемлемой частью рациона каждого человека и имеют решающее значение для продовольственной безопасности во всем мире. Стихийные бедствия, такие как засухи и наводнения, а также антропогенные кризисы и перманентно возникающие экономические потрясения привлекают особое внимание к управлению цепочками поставок в целом и хранению зерна в частности.

В настоящее время зерновые культуры убирают комбайнами, однако механические уборочные машины неизбежно повреждают зерно во время обмолота, что оказывает негативное влияние на жизнеспособность семян в период их хранения. Механические повреждения могут быть вызваны любым видом физического и механического воздействия, но наиболее серьезными являются повреждения, связанные с ударами движущихся частей машин во время уборки урожая и послеуборочной обработки [1]. Таблица 1 наглядно демонстрирует влияние механических повреждений семян зерновых культур на урожайность.

Таблица 1 - Последствия механических повреждений семян зерновых культур на их урожайность

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.2.1>

Культура	Условия повреждения	Снижение урожайности
Пшеница	Скорость удара от 5 до 2 м/с при влажности 7,5–25%	До 47,31%
Овёс	Обмолот при скоростях барабана 1,6 и 2,4 м/с	Увеличение повреждений на 19–29%
Чечевица	Воздействие при энергиях удара 0,1–0,3 Дж	Повреждения до 100%

Примечание: составлено автором

Очевидно, что повреждения семян, вызванные ударами во время уборки и транспортировки, являются серьезной проблемой в зерновой промышленности. Симптомы механического повреждения зерен могут проявляться в нескольких различных формах. Чрезмерные и очевидные повреждения зерен легко заметны, например, поломка и растрескивание, в свою очередь, внутренние повреждения, такие как образование внутренних трещин, микроскопические сколы и повреждения зародыша зерна, с первого взгляда не всегда определяются. Однако все эти дефекты снижают ценность продукта, сокращают срок его хранения, создают проблемы со здоровьем, увеличивают затраты на производство и переработку, снижают эффективность извлечения питательных веществ из зерен и уменьшают процент прорастания и энергию семян.

Для минимизации механических повреждений разрабатываются новые обмолотные машины и оптимизируются рабочие параметры комбайнов. С другой стороны, учеными проводятся регулярные исследования влияния повреждений при обмолоте на качественные свойства зерна. Эти влияния включают в себя энергию прорастания семян, скорость прорастания, элементный состав переработки [2]. В данном контексте анализ воздействия различных типов обмолота на повреждения семян зерновых культур, с точки зрения качественных показателей их хранения, является актуальной научно-практической задачей, которая и предопределила выбор темы данной статьи.

Методы и принципы исследования

Причины ухудшение качества хранящегося зерна в разрезе физических (температура, влажность), биологических (микрофлора, членистоногие, позвоночные) и технических (условия, методы и продолжительность хранения) факторов рассматривают в своих трудах Yang Liu, Bo Cui, Huan Chen [3], Wang Weijia, Karen A. Cichy [4], М. Присяжная, С.П. Присяжная, А.В. Липкань [5].

Анализ потерь до уборки урожая, потерь, возникающих во время транспортировки, предварительной обработки, хранения, переработки, упаковки семян зерновых культур проводят F. Delfan, F. Shahbazi, H.R. Eisvand и др. [6], B.C. Sarker и J. Gomasta [7], Ю.Г. Скворцова, Н.В. Калинина, Т.И. Фирсова и др. [8].

Влияние влажности, окружной скорости барабана и расстояния между шипами на повреждение зерна во время обмолота изучают В.А. Шаршунов, М.В. Цайц, В.А. Левчук и др. [9], Ziliang Huang, Rujing Wang, Qiong Zhou [10].

Широкий спектр публикаций свидетельствует об активном внимании ученых к рассматриваемой проблематике, однако некоторые вопросы еще не нашли своего должного освещения. Так, например, можно констатировать пробел в комплексных исследованиях относительно влияния рабочих параметров молотилки и факторов, специфичных для конкретной культуры, на поломку и растрескивание зерна. Кроме того, отдельного внимания заслуживает влияние снижения влажности семян на их хрупкость и, соответственно, вероятность механических повреждений.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении вопросов, связанных с механическими повреждениями и сохранением жизнеспособности семян зерновых культур в период хранения.

Методы исследования: систематизация, логический анализ, сравнение, группировка, моделирование, обобщение.

Основные результаты

Для семеноводов основной проблемой, связанной с механическими повреждениями зерна, является снижение всхожести. Часто всхожесть уменьшается еще до появления видимых трещин. Значительные механические повреждения, такие как: разрыв кожуры, перелом семян и т.д., могут быть нанесены элементами техники во время сбора урожая, транспортировки, хранения и т.д. [4]. Механические повреждения семян, вызванные ударными силами, зависят от таких факторов, как: скорость и энергия удара, структура семян, сорт, влажность и регулировка частей машины. Среди вышеперечисленных факторов критическими являются влажность семян и скорость удара. Исследователи подтвердили существенное влияние влажности семян и энергии удара на механическое повреждение семян, утверждая, что поломка семян значительно нарастает с повышением энергии удара и уменьшением их влажности. Так, например, Ziliang Huang и др. [10] сообщили, что с увеличением скорости обмолота семян пшеницы с 17,5 до 35 м/с процент аномальных проростков увеличился с 10% до 25%. B.C. Sarker и др. [7] отметили, что потери прорастания семян пшеницы, подвергнутых удару со скоростью 25–30 м/с, составляли от 12,0 % до 20 % в зависимости от их влажности.

На сегодняшний день не существует единой общепринятой классификации механических повреждений семян зерновых культур. Так, например, Wang Weijia, Karen A. Cichy [4] разделяют повреждения семян во время механических процессов, таких как уборка урожая и послеуборочные операции, на внешние и внутренние. Внутренний тип повреждений называется «трещинами от стресса» и касается небольших трещин или расколов,

вызванных чрезмерными сжимающими или растягивающими напряжениями в процессе или после сушки, в ходе охлаждения и регидратации, или в результате ударных нагрузок, которые образуются внутри зерна. Хотя растрескивание само по себе не причиняет прямого ущерба зернам, семена с трещинами, образовавшимися под воздействием высоких напряжений, подвержены разрушению при последующей обработке. Кроме того, они имеют низкий выход муки при сухом помоле и низкий выход крахмала при влажном помоле.

Из числа внешних повреждений ученые выделяют следующие группы:

- 1) поперечные потери (половинки);
- 2) продольные потери (половинки);
- 3) потери в районе зародыша (около 1/4 массы);
- 4) потери в районе бруса (около 1/4 массы);
- 5) раздавливание в направлении наименьшего размера;
- 6) боковое раздавливание;
- 7) поперечные трещины;
- 8) продольные трещины (через зародыш);
- 9) продольные трещины (неповрежденный зародыш);
- 10) истирание.

Некоторые отечественные исследователи выделяют два типа механического повреждения зерен: истирание и удар. Истирание возникает в результате трения семян или зерен о поверхность. В большинстве случаев истирание приводит к очень незначительным повреждениям. В результате удара снижается способность зерна к прорастанию, либо оно ломается, либо происходит и то, и другое [1].

Критически оценивая имеющиеся на сегодняшний день труды и наработки, в таблице 2 представлена авторская классификация механических повреждений семян зерновых культур, которая включает в себя типы конкретных повреждений, причины их возникновения и последствия для всхожести семян.

Таблица 2 - Классификация механических повреждений семян зерновых культур

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.2.2>

Признак	Повреждение	Описание	Причина/место возникновения	Влияние на всхожесть
Тип повреждения	Внешние повреждения	Трещины, разломы и сколы на поверхности семени, которые легко обнаружить визуально	Возникают при механической обработке и транспортировке	Способствуют проникновению патогенов и снижению качества хранения
	Внутренние повреждения (стрессовые трещины)	Невидимые внешне микротрещины внутри семени	Возникают из-за внутренних напряжений при сушке, увлажнении или механическом воздействии	Снижают всхожесть и жизнеспособность семян
Локализация повреждения	Повреждение оболочки	Трещины или разрывы в оболочке семени	Удар при обмолоте	Потеря защитных свойств и повышенная уязвимость к заболеваниям
	Повреждение эндосперма	Внутренние трещины или разрушения	Удар при обмолоте, трение	Снижают питательные запасы семени, что может затруднить прорастание
	Повреждение зародыша	Наиболее критичный тип повреждения	Механическая обработка, транспортировка	Может полностью лишить семя жизнеспособности
Степень тяжести	Лёгкие повреждения	Незначительные трещины или сколы	Перегрузка молотилки	Нет существенного влияния на всхожесть, но могут ускорить старение семян
	Умеренные повреждения	Дефекты средней тяжести	Низко установленные или	Снижение всхожести и

Признак	Повреждение	Описание	Причина/место возникновения	Влияние на всхожесть
			плохо настроенные жатки	увеличение риска заражения патогенами
	Сильные повреждения	Значительные разрушения структуры семени, включая разрушение зародыша	Высокая скорость вращения молотильного барабана	Полная потеря всхожести
Происхождение	Механические повреждения	Удары, давление или трение во время уборки, транспортировки или обработки	Падение зерна с большой высоты, обмолот, механическое трение	Потеря защитных свойств, потеря всхожести
	Термические повреждения	Воздействие высоких температур, например, при неправильной сушке	Резкие перепады температуры и влажности, пересушка	Повреждение внутренних структур семени
	Повреждения от влаги	Повреждения, вызванные избыточной влажностью или резкими изменениями влажности	Несоблюдение условий хранения, низкая влажность	Набухание и разрыв тканей семени

Примечание: составлено автором

Поврежденные семена демонстрируют сниженную жизнеспособность и всхожесть, кроме того, они более восприимчивы к химической обработке и уязвимы к воздействию микроорганизмов в почве. Рассмотрим более подробно некоторые корреляции между повреждением семян зерновых культур с их энергией прорастания и всхожестью.

Взаимосвязь между механическими повреждениями и жизнеспособностью семян. Результаты, проведенные с использованием семян кукурузы, свидетельствуют о том, что большинство поврежденных зерен могут прорасти и давать нормальные проростки, и только чрезмерно поврежденные не способны прорасти. По результатам прорастания поврежденных семян было установлено, что повреждения, полученные со стороны эндосперма, практически не влияли на энергию прорастания и укоренение семян, что частично объясняет несоответствие между процентом повреждений и потерей энергии прорастания семян при обмолоте [5]. Для оценки влияния обмолота на качество семян в данном случае целесообразно использовать тесты на энергию прорастания, вместо процента повреждений.

На рисунке 1 показана зависимость влияния механического повреждения на жизнеспособность семян сои. В качестве независимых переменных были выбраны скорость удара (12,4, 16,0 и 22,0 м/с) и количество ударов (1, 2 и 3), а зависимой переменной — процент всхожести семян.

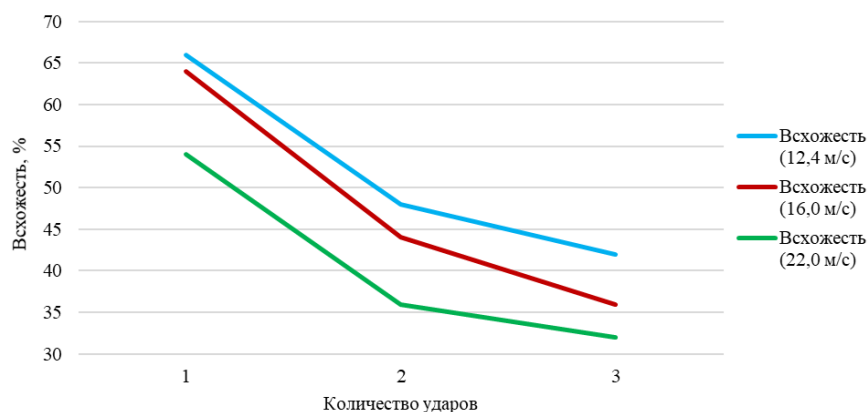


Рисунок 1 - Всхожесть семян сои в зависимости от количества ударов и их скорости

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.2.3>*Примечание: построено автором*

Данные, приведенные на рисунке 1, показывают четкую отрицательную корреляцию: с увеличением скорости удара и количества ударов процент всхожести семян значительно снижается. Это согласуется с принципом, что более сильное и многократное механическое воздействие приводит к более серьезным внутренним и внешним повреждениям, что напрямую влияет на способность семени прорасти.

Влияние влажности на повреждение и энергию роста семян после механического обмолота. Для получения высокой энергии роста в последнее время в производстве семян зерновых культур, например, кукурузы и риса рекомендуется убирать урожай до достижения семенами физиологической зрелости. Ранее убранные семена обычно имеют более высокую влажность, что требует их быстрой сушки и обмолота во избежание порчи. Однако влияние влажности семян на их повреждение и энергию роста во время обмолота изучено не полностью. При высушивании семян до низкой влажности они становились более твердыми и устойчивыми к внутренним повреждениям в процессе послеуборочной обработки. Кроме того, более твердые семена на стадии низкой влажности требовали меньших усилий для отделения от початков, что могло привести к меньшему механическому повреждению. В работе F. Delfan и др. [6] было отмечено, что механическое повреждение уменьшалось, а энергия прорастания семян кукурузы и риса увеличивалась с уменьшением их влажности во время обмолота. Аналогичный результат был получен для сорго, где семена из метелки, обмолоченные при влажности 13–14%, имели значительно более высокий процент прорастания и жизнеспособность проростков, чем семена, обмолоченные при влажности 18–20%.

На основе результатов проведенных экспериментов и эмпирических данных, в таблице 3 систематизировано влияние механических повреждений семян зерновых культур на энергию прорастания и всхожесть.

Таблица 3 - Влияние механических повреждений семян зерновых культур на энергию прорастания и всхожесть

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.2.4>

Культура	Условия повреждения	Влияние на всхожесть и энергию прорастания
Ячмень	Механическая обработка при влажности 8,7–35%	При влажности до 26% семена выдерживали повреждение без значительного снижения качества; при 35% влажности наблюдалось снижение всхожести и энергии прорастания, несмотря на схожий уровень внешних повреждений
Овёс	Обмолот при скоростях барабана 1,6 и 2,4 м/с	Увеличение скорости обмолота на 50% привело к увеличению частоты микроповреждений на 19% и площади повреждений на 29%; сорт Bullion показал наибольшую устойчивость к повреждениям

Культура	Условия повреждения	Влияние на всхожесть и энергию прорастания
Пшеница и тритикале	Воздействие при влажности 7,5–25% и скоростях удара 5–20 м/с	Увеличение скорости удара с 5 до 20 м/с повысило повреждения с 1,26% до 47,31%; повышение влажности с 7,5% до 17,7% уменьшило повреждения вдвое; оптимальная влажность для минимизации повреждений — около 17,1%.
Кукуруза	Падение с различной высоты при влажности 10–25%	При влажности 10% наблюдалось большее физическое повреждение (14,01%) по сравнению с 25% (10%); однако при более высокой влажности снижалась всхожесть из-за повреждений зародыша; оптимальная влажность для минимизации повреждений — около 15–20%.
Чечевица	Воздействие при влажности 10–25%	Повреждения увеличивались при снижении влажности; красная чечевица была более хрупкой, чем зелёная; оптимальная влажность для минимизации повреждений — 17,5% для зелёной и 15% для красной чечевицы.

Примечание: составлено автором на основе [2], [4], [5], [8]

Для минимизации механических повреждений семян зерновых культур во время уборки и обработки, производителям следует обратить внимание на следующие аспекты:

1. Контроль влажности семян. Урожай рекомендуется собирать при оптимальной влажности (13–14% для сорго), так как семена с более низкой влажностью становятся более твердыми и устойчивыми к механическим повреждениям.
2. Оптимизация параметров техники. Необходимо снизить скорость вращения барабана комбайна, так как высокая скорость обмолота значительно увеличивает процент повреждений семян.
3. Осторожное обращение с семенами. Следует избегать падений зерна с большой высоты и других ударных воздействий, так как именно они являются основной причиной снижения всхожести.
4. Выявление внутренних повреждений. Принимая во внимание тот факт, что некоторые повреждения, например внутренние трещины, сложно обнаружить невооруженным глазом, рекомендуется использовать тесты на энергию прорастания, а не только визуальную оценку процента повреждений.

Заключение

Механические повреждения семян зерновых культур неизбежны в процессе уборки урожая, транспортировки и хранения. Тип и масштаб травмирования семени зависит от модификации используемого оборудования, а также рабочих параметров устройств. Сорта по-разному реагируют на растрескивание и раздробление зерна в зависимости от влажности и параметров молотилки, также не все наблюдаемые растрескивания и раздробления зерна приводят к критической потере основных качеств.

В процессе исследования предложен авторский подход к классификации механических повреждений семян зерновых культур, в рамках которой выделены типы повреждений, представлено их описание, причины и факторы, способствующие возникновению, а также влияние на всхожесть. Помимо этого, в работе проанализирована корреляция между повреждением семян зерновых культур с энергией их прорастания и всхожестью, приведены некоторые систематизированные примеры.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Гурьева К.Б. Травмирование зерна гречихи при послеуборочной обработке и хранении (обзор) / К.Б. Гурьева, Е.А. Тарасова, Н.А. Хаба // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. — 2023. — № 18. — С. 37–48.
2. Турдиев Б.Э. Влияние рациональных параметров ленточного конвейера на снижение поврежденности семян / Б.Э. Турдиев // Universum: технические науки. — 2025. — № 1–3 (130). — С. 65–67.
3. Yang Liu. Research on microstructural-mechanical and shearing properties of castor seed during mechanical extraction / Yang Liu, Bo Cui, Huan Chen // Journal of Texture Studies. — 2023. — Vol. 54. — № 6. — P. 902–912.
4. Weijia Wang. Genetic variability for susceptibility to seed coat mechanical damage and relationship to end-use quality in kidney beans / Wang Weijia, Karen A. Cichy // Crop Science. — 2023. — Vol. 64. — № 1. — P. 33–39.
5. Присяжная И.М. Разработка адаптирующих устройств комбайна для получения качественных семян при уборке сои / И.М. Присяжная, С.П. Присяжная, А.В. Липкань // Вестник российской сельскохозяйственной науки. — 2023. — № 2. — С. 84–88.
6. Delfan F. Assessing the effects of free fall conditions on damage to chickpea seeds: A comprehensive examination of seed deterioration / F. Delfan, F. Shahbazi, H.R. Eivand [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2024. — Vol. 12. — № 5. — P. 10–19.
7. Sarker B.C. Presowing Mechanical Seed Treatment Influencing the Emergence and Primary Seedling Vigor of Jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam.) / B.C. Sarker, J. Gomasta // International Journal of Agronomy. — 2024. — Vol. 2024. — № 1. — P. 178–186.
8. Скворцова Ю.Г. Влияние травмирования на посевные качества семян сортов озимой мягкой пшеницы при уборке и послеуборочной доработке / Ю.Г. Скворцова, Н.В. Калинина, Т.И. Фирсова [и др.] // Зерновое хозяйство России. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 56–62.
9. Шаршунов В.А. Перспективы развития и совершенствования процесса отделения семенной части от стеблей льна / В.А. Шаршунов, М.В. Цайц, В.А. Левчук [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2024. — № 3. — С. 132–136.
10. Ziliang Huang. Fast location and segmentation of high-throughput damaged soybean seeds with invertible neural networks / Ziliang Huang, Rujiang Wang, Qiong Zhou // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2022. — Vol. 102. — № 11. — P. 4854–4865.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Guryeva K.B. Travmirovaniye zerna grechih pri posleuborochnoj obrabotke i hranenii (obzor) [Injury of buckwheat grain during post-harvest processing and storage (review)] / K.B. Guryeva, E.A. Tarasova, N.A. Khaba // Innovacionnye tehnologii proizvodstva i hranenija material'nyh cennostej dlja gosudarstvennyh nuzhd [Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs]. — 2023. — № 18. — P. 37–48. [in Russian]
2. Turdiev B.E. Vliyanie racional'nyh parametrov lentochnogo konvejera na snizhenie povrezhdennosti semjan [Influence of rational parameters of a belt conveyor on reducing seed damage] / B.E. Turdiev // Universum: tehicheskie nauki [Universum: Technical Sciences]. — 2025. — № 1–3 (130). — P. 65–67. [in Russian]
3. Yang Liu. Research on microstructural-mechanical and shearing properties of castor seed during mechanical extraction / Yang Liu, Bo Cui, Huan Chen // Journal of Texture Studies. — 2023. — Vol. 54. — № 6. — P. 902–912.
4. Weijia Wang. Genetic variability for susceptibility to seed coat mechanical damage and relationship to end-use quality in kidney beans / Wang Weijia, Karen A. Cichy // Crop Science. — 2023. — Vol. 64. — № 1. — P. 33–39.
5. Prisyazhnaya I.M. Razrabotka adaptiruyushchih ustrojstv kombajna dlya polucheniya kachestvennyh semyan pri uborke soi [Development of combine harvester adaptive devices for obtaining high-quality seeds when soybeans harvesting] / I.M. Prisyazhnaya, S.P. Prisyazhnaya, A.V. Lipkan // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki [Bulletin of the Russian Agricultural Science]. — 2023. — № 2. — P. 84–88. [in Russian]
6. Delfan F. Assessing the effects of free fall conditions on damage to chickpea seeds: A comprehensive examination of seed deterioration / F. Delfan, F. Shahbazi, H.R. Eivand [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2024. — Vol. 12. — № 5. — P. 10–19.
7. Sarker B.C. Presowing Mechanical Seed Treatment Influencing the Emergence and Primary Seedling Vigor of Jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam.) / B.C. Sarker, J. Gomasta // International Journal of Agronomy. — 2024. — Vol. 2024. — № 1. — P. 178–186.
8. Skvortsova Yu.G. Vliyanie travmirovaniya na posevnye kachestva semyan sortov ozimoy myagkoj pshenicy pri uborke i posleuborochnoj dorabotke [The effect of injury on the sowing seed qualities of winter bread wheat varieties during harvesting and post-harvest processing] / Yu.G. Skvortsova, N.V. Kalinina, T.I. Firsova [et al.] // Zernovoe hozyajstvo Rossii [Grain economy of Russia]. — 2023. — Vol. 15. — № 5. — P. 56–62. [in Russian]

9. Sharshunov V.A. Perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya processa otdeleniya semennoj chasti ot stblej l'na [Prospects of development and improvement of the process of separation of seed part from flax stem] / V.A. Sharshunov, M.V. Cajc, V.A. Levchuk [et al.] // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]. — 2024. — № 3. — P. 132–136. [in Russian]

10. Ziliang Huang. Fast location and segmentation of high-throughput damaged soybean seeds with invertible neural networks / Ziliang Huang, Rujing Wang, Qiong Zhou // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2022. — Vol. 102. — № 11. — P. 4854–4865.