

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗЕРНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЦЕССУ СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНА ПОСЛЕ УБОРКИ МЕТОДОМ ОЧЕСА

¹Месхи Б.Ч., ¹Мозговой А.В., ¹Рудой Д.В., ^{1,2}Пахомов В.И., ¹Ольшевская А.В., ¹Егян М.А.,
¹Мальцева Т.А.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
²Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

Аннотация. Одним из важнейших этапов уборки и переработки зерна является его послеуборочная обработка. Качество проведённой послеуборочной обработки определяет его сохранность, а также качественные характеристики. В статье рассмотрены свойства зернового вороха, влияющие на процесс сепарации. Проведен анализ зерна пшеницы на количество сорной и зерновой примеси сортов: «Подарок Крыму» и «Премьера», убранные новым агрегатом для уборки урожая методом очеса на корню. Определено, что сорная примесь в зерне после агрегата составляет 16-17 %, что на 5-10 % больше, чем после традиционной комбайновой уборки и очесывающей жатки, агрегируемой с комбайном. Также был определён размер сорной примеси путем просеивания через набор сит диаметром: 6 мм, 4 мм, 3,5 мм, 3 мм, 2 мм, 1,5 мм.

Ключевые слова. Послеуборочная обработка зерна, влажность, всхожесть, засоренность, скважистость, физико-механические свойства зерна, агрегат для уборки урожая, многолетняя пшеница, Трититригия, Сизый пырей сорт «Сова».

ANALYSIS OF GRAIN PROPERTIES IN RELATION TO THE PROCESS OF SEPARATING GRAIN AFTER HARVESTING BY THE TOW METHOD

¹Meskhі B.C., ¹Mozgovoy A.V., ¹Rudoy D.V., ^{1,2}Pakhomov V.I., ¹Olshetskaya A.V., ¹Egyan M.A.,
¹Maltseva T.A.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
²Agrarian Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation

Abstract. One of the most important stages of grain harvesting and processing is its post-harvest processing. The quality of the post-harvest processing determines its safety, as well as its quality characteristics. The article considers the properties of a grain heap that affect the separation process. Wheat grain was analyzed for the amount of weed and grain impurities of varieties: "Gift to Crimea" and "Premier", harvested by a new unit for harvesting by the method of combing on the vine. It has been determined that the amount of weed in the grain after the unit is 16-17%, which is 5-10% more than after traditional combine harvesting and a stripping header aggregated with a combine. The size of the weed was also determined by sifting through a set of sieves with a diameter of 6 mm, 4 mm, 3.5 mm, 3 mm, 2 mm, 1.5 mm.

Keywords. Post-harvest processing of grain, moisture, similarity, weediness, physical and mechanical properties of grain, harvesting unit, perennial wheat, Trititrigia, Blue wheatgrass variety «Sova»

Введение. Качественные и количественные показатели урожая зерна зависят от применяемой технологии уборки, уровня агротехники, почвенно-климатических условий, агросроков и др. [1-3].

Послеуборочная обработка зерна неразрывно связана с уборкой урожая. Для снижения потерь при уборке наиболее подходящий метод — метод очеса на корню, позволяющий собирать урожай на ранних стадиях созревания с минимальным повреждением зерна. Этот способ уборки особенно эффективен при уборке многолетних зерновых колосовых культур в ранние сроки созревания. Эффективность уборки многолетних зерновых колосовых культур методом очеса описано в работах [4-6,25,26]. По данным [5,6] в стадии молочно-восковой спелости зерно имеет повышенное содержание питательных веществ. Помимо этого, в такой стадии в зерне содержится свыше 60% влаги, что оказывает значительное влияние на процесс очистки. В настоящее время нет исследований, посвященные выделению зерна из вороха, убранного на ранних стадиях спелости. Кроме того, исследованиями [6] доказано, что многолетняя пшеница Трититригия сорт «Памяти Любимовой» и Сизый пырей сорт «Сова» имеют повышенное содержание протеина в сравнении с однолетней пшеницей. Таким образом, для получения зерна с повышенной питательной ценностью целесообразно

использовать многолетние культуры на ранних стадиях спелости. Поэтому, с целью выявления факторов, в большей мере влияющие на процесс сепарации, проведен анализ качественных и физико-механических свойств зерна.

Физико-химические и физические показатели качества, оказывающие влияние на процесс сепарации. Влажность является важным фактором, влияющим на процесс очистки зерна от сорной примеси и на качество зерна при хранении.

На влажность свежесобранного урожая влияет его зрелость, погодные условия во время уборки урожая, свойство зерна поглощать или отдавать влагу (гигроскопичность). Массовая доля влаги в зерне пшеницы ранних фаз спелости составляет свыше 60%. В процессе созревания массовая доля влаги в зерне снижается до 12-20%.

В зависимости от влажности зерна можно разделить на 4 группы условия работы поточных линий:

1. Благоприятные - влажность вороха 14 % и менее;
2. Хорошие - влажность вороха 15...22 %;
3. Удовлетворительные - влажность вороха 23...27 %;
4. Неблагоприятные - влажность вороха 28% и более.

Натура зерна зависит от влажности – чем выше влажность, тем ниже натура. Поэтому для более влажного зерна необходима большая емкость, чем для более сухого. При повышении влажности сыпучесть зерна снижается.

Под натурой зерна понимают массу установленного объема зерна. В России при внутренних операциях под натурой понимают массу 1 л зерна, выраженную в граммах. Нормой показателя пшеницы считается диапазон в пределах 740—790 г/л.

Если влажность превышает 14 %, то это является причиной ухушения качества семенного материала при длительном периоде хранения [3,7-10].

Каждый процесс повышения влажности вороха свыше 16% приводит к снижению фактической производительности сепараторов до 5% и увеличению засоренности на 1%. Увеличению влажности вороха соответствует общее увеличение засоренности и повышенное содержание щуплых и дробленых зерен. Зависимость между влажностью W и засоренностью S зернового вороха (1) [18]:

$$S = e^{0,176+0,05 W} \quad (1)$$

Засоренность вороха зерна, поступающего на послеуборочную обработку, может составлять от 1 до 40 %. С увеличением влажности зернового вороха увеличивается засоренность, что создает трудности при очистке зерна, т.к. эти факторы сильно усугубляют процесс сепарирования. Высокая засоренность сопровождается наличием в ворохе частиц влажностью 50-70% и более [19]. Содержание в ворохе большого количества сорных примесей, легковесного и биологически неполноценного зерна определяют очистку зернового вороха зерноочистительными машинами по аэродинамическим свойствам воздушных систем и по размерам на решетках [12].

Не менее важной характеристикой качества зерна является их *всхожесть*. Она должна быть не меньше 92% согласно ГОСТу [11]. Основным фактором, влияющим на всхожесть, особенно полевую, является степень повреждения семян.

Физико-механические свойства зерна. Особое значение при очистке зерна имеют физико-механические свойства зерновых культур и содержащиеся в них примеси, позволяющие выбрать принцип очистки – по скорости витания, ширине, толщине и длине частиц и плотности сепарируемого материала.

Процесс очистки и сортировки зерна основан на использовании аэродинамических свойств, размера зерна, плотности, состояния поверхности, различий в форме, цвете и т. д. Зерноочистительные и сортировочные машины оснащаются устройствами, работающими по принципу использования одной или нескольких характеристик и свойств зерна и других компонентов смеси [13-15].

Для очистки зерновых культур по геометрическим характеристикам зерен учитывают их линейные размеры. Форма и линейные размеры зерна влияют на выбор сит сепараторов, а также на характеристику измельчающих или шелушильных машин. Линейными размерами являются длина, ширина и толщина зерна.

Семена различных культур имеют поверхность (гладкие, шероховатые, пористые, бугристые, покрытые кожицей) и форму (длинные, шаровидные, трехгранные). Коэффициент трения при движении этих семян по наклонной поверхности тоже различен. Ввиду этих отличий для сепарации семян созданы устройства с наклонными поверхностями трения: горки, винтовые сепараторы, фрикционные триеры.

Скважистость — это наличие зернистой массы воздуха в межзерновом пространстве. Расчет скважистости сводится к расчету объема межзерновых промежутков. Скважистость и плотность укладки зерновой массы зависят от ряда факторов: формы и размера зерна, состояния его поверхности, влажности, примесей, от характеристик самого хранилища зерна. Скважистость различна для разных культур и составляет примерно 34-68%.

Сыпучесть — это способность зерна двигаться по любой поверхности, находящейся под углом к горизонту. Такие показатели, как угол естественного откоса, коэффициент трения, используются для характеристики объемных свойств материалов. Чем выше сыпучесть продукта, тем меньше величина угла естественного откоса. Наиболее сыпучие это семена шарообразной формы с гладкой поверхностью [16].

В таблице 1 приведены физико-механические свойства пшеницы [17].

Таблица 1 - Физико-механические свойства пшеницы

Культура	Размеры, мм			Плотность, г/см ³	Масса 1000 зерен, г	Натура, кг/дм	Коэффициент внутреннего трения	Скважистость, %	Коэффициент внешнего трения		
	Длина	Ширина	Толщина						По дереву	По стали	По бетону
Пшеница	4,8-8,0	1,6-4,0	1,5-3,3	1,20-1,50	20-40	0,76	0,47	54,0	0,40	0,37	0,40

Аэродинамические свойства зерна определяются его поведением в воздушном потоке. При вертикальном воздушном потоке частицы (зерно, примеси) могут либо падать, либо уноситься воздухом вверх, либо находиться во взвешенном состоянии, т. е. витать. Давление воздушного потока на тело внутри него зависит от массы тела, его размеров, формы, состояния поверхности, относительной скорости движения и расположения зерна, а также от состояния воздуха. Для характеристики аэродинамических свойств зерна используется коэффициент парусности (уравнение 2).

$$K_n = \frac{K_y F}{G}, \quad (2)$$

где G — масса зерна (частицы), кг;
 γ — плотность воздуха, кг/м³.

Скорость витания связана обратно пропорциональна корню квадратному из коэффициента парусности (уравнение 3).

$$v_v = \sqrt{\frac{g}{K_n}}, \quad (3)$$

Скорость витания (м/с) — это скорость воздушного потока, при которой сила тяжести, действующая на частицу, уравновешивается силой сопротивления воздуха.

Скорость витания, как и коэффициент парусности, не является постоянной величиной для какого-либо тела (зерна), так как она зависит от площади F, на которую воздействует воздушный поток. Площадь F для всех нешарообразных тел, каким является также зерно, изменяется при вращении в воздушном потоке. Поэтому невозможно выбрать такую скорость воздуха, при которой зерно оставалось бы неподвижным. В зависимости от положения большой оси зерна по отношению к направлению воздушного потока оно либо поднимается (в вертикальном положении), либо опускается (в поперечном положении).

Аэродинамические свойства зерна и его примесей используются при очистке и сортировке зерновой массы. Мертвые органические отходы (кусочки соломы, мякина, солома) изолируются от зерновой массы потоком воздуха. Вторичный проход через воздушный поток изолирует многие семена от сорняков. Скорость витания зерна и его примесей устанавливают экспериментально в пневматических классификаторах разной конструкции. По данным [17] средняя скорость витания (взвешивающая скорость) для пшеницы составляет 8,9-11,5 м/с, коэффициент аэродинамического сопротивления - 0,184-0,265.

Анализ сорной примеси зернового вороха пшеницы, убранного новым агрегатом для уборки урожая методом очеса на корню. На основании изученных данных нами бы проведен анализ зернового вороха мягкой озимой пшеницы сортов: «Подарок Крыму» и «Премьера», которые были собраны новым агрегатом для уборки урожая [20]. Натура зерна пшеницы сорта пшеницы «Подарок Крыму» составила 215 г/л, «Премьера» - 240 г/л. результаты состава сорной примеси по ситам пшеницы «Подарок Крыму» представлены в таблице 2, пшеницы сорта «Премьера» - в таблице 3.

Таблица 2 – Анализ сорной примеси мягкой озимой пшеницы сорта «Подарок Крыму»

№ Сита с круглыми отверстиями, мм	Целые зёрна, г	Битые зёрна, г	Сорная примесь, %
Сито № 6	-	-	8,40
Сито № 4	19,30	0,86	4,60
Сито № 3,5	15,03	1,04	1,50
Сито № 3	4,04	0,89	1,20
Сито № 2	0,74	1,35	0,90
Сито № 1,5	-	-	0,30
Проход через сито № 1,5 мм	-	-	0,20
Итого:	39,10	4,14	17,10

Таблица 3 – Анализ сорной примеси мягкой озимой пшеницы сорта «Премьера»

№ Сита	Целые зёрна, г	Битые зёрна, г	Сорная примесь, %
Сито № 6	0,26	-	5,20
Сито № 4	8,77	0,42	4,70
Сито № 3,5	21,05	1,36	3,10
Сито № 3	8,08	1,13	1,60
Сито № 2	0,99	1,34	0,90
Сито № 1,5	-	-	0,60
Проход через сито № 1,5 мм	-	-	0,10
Итого:	39,16	4,26	16,20

Обсуждение. Анализ сорной примеси в зерновом ворохе после уборки зерна методом очеса показал, что разделение зерновой примеси можно осуществлять по скорости витания и по длине.

По скорости витания на зерновую смесь воздействуют воздушным потоком в пневмосепарирующих каналах или камерах.

По длине осуществляют на ячеистых поверхностях преимущественно цилиндрических триеров. Определяющим параметром разделения является диаметр ячеек [21].

Так как в зерновом ворохе не было обнаружено минеральных веществ, семян сорных растений и тд. разделение по ширине, толщине и по плотности в данном случае не применимы.

Заключение. При уборке методом очеса на корню новым агрегатом для уборки урожая сорная примесь зерна сорта «Подарок Крыму» составила 17,1 %, сорта «Премьера» 16,2 %.

При технологии уборки классическим комбайновым методом сорная примесь зерна составляет 4-6 % [22], а после очесывающей жатки 6-10 % [23,24].

Таким образом целесообразно проводить исследования по очистке зерна, так как процент сорной примеси после агрегата для уборки урожая намного больше, чем при комбайновой уборке, это обусловлено тем, что в агрегате не предусмотрена очистка зерна, поэтому весь процесс очистки зерна будет осуществляться на стационаре.

Благодарности. Работа выполнена в рамках исполнения гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1700.2021.5, соглашение № 075-15-2021-179).

Исследование выполнено при поддержке гранта в рамках конкурса «Наука-2030».

Список использованных источников

1. Процеров А.В. Погода и уборка комбайнами зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1962, – 67 с.
2. Федосеев П.Н. Уборка зерновых культур в районах повышенной влажности. М.: Колос, 1969, -175с.
3. Ямпиллов С.С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетками. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. –165 с.
4. Рудой Д. В., Пахомов В. И., Мальцева Т. А., Егян М.А., Куликова Н.А. Обзор и анализ технологий уборки зерновых колосовых культур. Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 120-125.
5. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Саркисян Д.С., Саакян С.Р., Мальцева Т.А. Анализ способов консервации зерна пшеницы на ранних стадиях спелости. Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 131-137.

6. Рудой Д. В., Пахомов В. И., Мальцева Т. А., Ольшевская А.В., Угрехелидзе Н.Т. Обзор и анализ многолетних зерновых культур. Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 48-52.
7. Дринча В.М. Качество зернового материала и эффективность послеуборочной обработки / В.М. Дринча, И.Г. Зубаилов // Тракторы и сельхозмашины. 2002. - № 9.– С.31 - 34.
8. Зюлин А.Н. Зависимость чистоты зерна от состава исходного вороха при пневмоинерционной сепарации / А.Н. Зюлин // Механизация уборки зерновых культур: Тр. / ВАСХНИЛ. М., 1985. - С.35 – 39.
9. Коломеец П.А. Исследование свойств зернового вороха как объекта сепарирования воздушным потоком / П.А. Коломеец. – Тр./ЛСХИ - Ленинград-Пушкин, 1977. – Т.335. – с.49 - 53.
10. Сорокин Н.Н. Улучшение качества семян и продовольственного зерна при послеуборочной обработке / Н.Н. Сорокин // «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок»: сб. тр. регион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Воронеж, 2011. — С. 206-208
11. ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые посевные качества. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2005. – 24 с.
12. Киреев М.В., Григорьев С.М., Ковальчук Ю.К. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. - Л.: Колос, 1981, – 265 с
13. Е.Н. Трубилин, В.А. Абликов, Л.П. Соломатина, А.Н. Лютый Машины для уборки сельскохозяйственных культур «конструкции, теория и расчет) Учеб.пос. - 2 изд перераб. И дополн. – КГАУ, Краснодар, 2009 – 216 с
14. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)./ Тарасенко А.П., Солнцев В.Н., Гребнев В.П. и др.- М.:Колос, 2002г.-203 с. 93.
15. Механизация процессов послеуборочной обработки зерна в Новосибирской области: Рекомендации / РАСХН. Сиб. Отд-ние. СибИМЭ; Подгот. Иванов Н.М., Сеницын В.А., Климок А.И. и др. – Новосибирск, 2002. – 128с.
16. Пунков С.П., Стародубцева А.И. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение- 2-е изд. доп. и перераб. -М.: Агропромиздат, 1990. - 367 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений)
17. Физико-механические, физико-химические и теплофизические свойства сырья и готовых продуктов пищевой промышленности: справочные материалы/ Юж-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).- Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012.-28с
18. Максимчук В.К., Тесленко В.Н. Выбор оценочных показателей зерновой массы, поступающей на обработку: сборник научных трудов:СибИМЭ.-Новосибирск, 1980.-94-97 с.
19. Киреев М.В., Григорьев С.М., Ковальчук Ю.К. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. -Л.:Колос, 1981.- 224 с.
20. Агрегат для уборки урожая / Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Рудой Д.В. // Патент на полезную модель, RU 206314 U1, 06.09.2021, Россия, МПК A01D 41/08 (2006.01); заявл. 07.06.2021, опубл. 06.09.2021 бюл. № 25
21. Чепурин Г. Е. Уборка и послеуборочная обработка зерновых культур в экстремальных условиях Сибири. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011.– 176 с
22. Муратов Д. К. Интенсификация процесса сепарации мелкого зернового вороха в воздушно-решетной очистке зерноуборочного комбайна: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 – Ростов-на-Дону, 2012 - 220 с.
23. Савин, В. Ю. Определение состава очесанного вороха при уборке пшеницы с использованием прицепного очесывающего устройства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (51). – С. 96–99.
24. Очесывающая технология уборки урожая: от абсурда до реальной необходимости [Электронный ресурс] URL: <https://agrosver.ru/articles/3365.htm?ysclid=I973u0izf2244442279>
25. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Мальцева Т.А., Бабаджанян А.С., Саакян С.Р. Многолетние культуры как альтернатива зернового сырья в экструдированных кормах для сельскохозяйственных животных. Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 182-186.
26. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Мальцева Т.А., Ольшевская А.В., Журавлева А.А. Перспективы использования зеленой массы многолетних зерновых культур в производстве высокоценных кормовых добавок. Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 108-111.