

Обоснование параметров гравитационной очистительной колонки

Виктор Геннадьевич Хамуев,

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: victor250476@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследовали гравитационный способ сепарации зернового вороха, при котором очистка от крупных и мелких примесей осуществляется без затрат электроэнергии, при самотечном движении материала в вертикальных очистительных колонках по неподвижным зигзагообразно размещенным сепарирующим гребенкам. *(Цель исследования)* Изучить работу гравитационной колонки на очистке селекционных семян и обосновать ее конструктивные параметры. *(Материалы и методы)* Разработали макетный образец гравитационной колонки. Экспериментально определили: диаметр зубьев гребенок; пропускную способность колонки; возможность более полного выделения из исходного материала фракции «семена»; полноту выделения крупных примесей. Сравнили работу гравитационной колонки и плоского качающегося решета. Оценили заклинивание гребенок семенами очищаемой культуры. *(Результаты и обсуждение)* Отметили, что на очистке пшеницы при производительности 45,6 килограмма в час выход фракции «отход» составил 0,5 процента, потери 0,07 процента, а при производительности 227,8 килограмма в час, соответственно, 0,98 и 0,35 процента, что отвечает исходным требованиям на основные технологические операции для послеуборочной обработки селекционных семян. *(Выводы)* Установили, что гравитационная колонка для выделения мелких примесей селекционных семян пшеницы с высокой эффективностью разделяет частицы, если они отличаются друг от друга по толщине не менее 0,3 миллиметра при зазоре между прутками гребенки 2,0 миллиметра и диаметре поперечного сечения прутка 0,9 миллиметра. Определили, что высокая производительность – до 150 килограммов в час – возможна при поперечном сечении колонки со сторонами 60 и 70 миллиметров. Выявили практически одинаковое качество разделения материала при выделении мелких примесей с помощью как решета, так и гравитационной колонки.

Ключевые слова: очистка семян, сепарация зернового вороха, гравитационная очистительная колонка, воздушно-решетная машина, энергосбережение, производительность.

■ **Для цитирования:** Хамуев В.Г. Обоснование параметров гравитационной очистительной колонки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №4. С. 26-32. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-26-32.

Justification of the Gravitational Seed Cleaning System Parameters

Victor G. Khamuev,

Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: victor250476@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The author researched the gravitational method of separating a grain heap, in which cleaning from large and small impurities was carried out without energy consumption, with the gravity material flow in vertical cleaning columns along fixed zigzag separating combs. *(Research purpose)* To study the gravity column operation for cleaning selection seeds and substantiate its design parameters. *(Materials and methods)* A prototype gravity column was developed. The author experimentally determined: the combs teeth diameter; column throughput; the possibility of a more complete separation of the seed fraction from the basic material; completeness of large impurities separation. He compared the work of the gravity column and the flat rocking sieve. He assessed the combs jamming by the cleaned culture seeds. *(Results and discussion)* The author noted that on wheat cleaning at a productivity of 45.6 kilogram per hour, the yield of the "waste" fraction was 0.5 percent, a loss of 0.07 percent, and at a productivity of 227.8 kilogram per hour – 0.98 and 0.35 percent, which corresponded to the initial requirements for the main technological operations for post-harvest processing of selection seeds. *(Conclusions)* It was found that a gravity column for separating selection wheat seeds small impurities separated particles with high efficiency if they differed from each other in

thickness of at least 0.3 millimeter with a gap between the comb bars of 2.0 millimeter and a bar cross-section diameter of 0.9 millimeter. It was determined that high productivity – up to 150 kilogram per hour – was possible with a column cross-section with sides of 60 and 70 millimeter. The author revealed practically the same quality of material separation when separating small impurities using both a sieve and a gravity column.

Keywords: seed cleaning, grain heaps separation, gravity wash column, air-sieve machine, energy saving, productivity.

For citation: Khamuev V.G. Obosnovanie parametrov gravitatsionnoy ochistitel'noy kolonki [Justification of the gravitational seed cleaning system parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 26-32 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-26-32.

Для очистки семян, собранных с селекционных питомников, используют воздушно-решетные машины [1-3]. Несмотря на то, что их номинальная производительность на пшенице составляет 150 кг/ч при обработке различных партий (образцов) семян массой от 6 до 20 кг, фактическая производительность составляет от 30 до 67 кг/ч (3-5 образцов/ч) [4-6]. Связано это с необходимостью остановки и очистки машины от застрявших в отверстиях решет семян предыдущей партии для исключения сортосмешивания [7-9].

В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ проводятся изыскания по совершенствованию технологии и способа очистки образцов семян [10]. Например, разработан гравитационный способ сепарации зернового вороха, при котором очистка от крупных и мелких примесей осуществляется без затрат электроэнергии и при самотечном движении материала в вертикальных очистительных колонках по неподвижным зигзагообразно размещенным сепарирующим гребенкам (вместо колеблющегося решета) [11]. Использование этого способа очистки целесообразно при создании селекционной семяочистительной машины, свободной от недостатков традиционных аналогов [12-14].

Цель исследования – изучить работу гравитационных колонок на очистке селекционных семян и обосновать их конструктивные параметры.

Материалы и методы. Исследования проводили на вертикальной гравитационной колонке (рис. 1). Она имеет прямоугольное сечение 60×70 мм и высоту 500 мм. Три ее стенки изготовлены из металла, а четвертая – из прозрачного органического стекла для наблюдения за процессом очистки. Внутри колонки установлены гребенки, представляющие собой консольно-закрепленные на общей поверхности в ряд металлические прутки.

Очистка семян в колонке заключается в следующем. Исходный материал подается сверху и самотеком движется вниз по гребенкам. Во время движения мелкие примеси проходят через зазоры между прутками и вдоль боковых стенок падают вниз, а семена, скользя по гребенкам, также опускаются вниз, где разделенные фракции собираются в соответствующие емкости.

Чтобы установить оптимальные параметры гравитационной колонки, провели несколько опытов.

Опыт № 1. Определяли диаметр зубьев гребенок при очистке семян пшеницы, засоренных мелкими органическими и минеральными примесями, а также мелкими и щуплыми семенами. При этом оценивали точность разделения исходного материала и фракций «семена» и «отходы» на решетках с продолговатыми отверстиями. Фракция «отход» подвергалась ручной разборке, после чего определяли содержание полноценных семян (потери). Использовали две колонки, в каждой по 9 гребенок, с прутками Ø0,6 мм (колонка 1) и Ø0,9 мм (колонка 2). Зазор между прутками составлял 2,0 мм. Вид кривой изгиба каждого прутка – эвольвента.

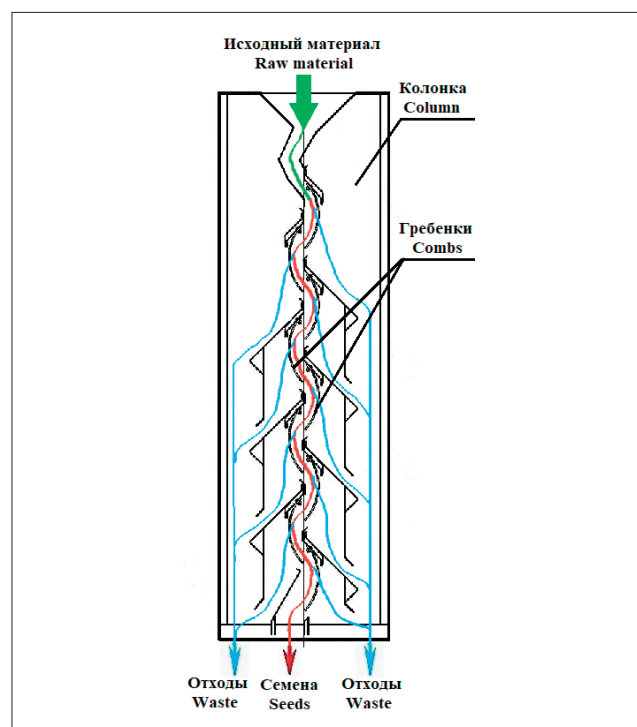


Рис. 1. Схема гравитационной очистительной колонки

Fig. 1. Scheme of a gravity wash column

Опыт № 2. После выбора диаметра прутков гребенок определяли пропускную способность колонки на очистке семян пшеницы, которые разделяли на две фракции при различной производительности. Решет-

ному анализу, а также ручной разборке (см. опыт № 1) подвергались исходный материал и фракция «отход». Зазор между прутками составлял 2,0 мм.

Опыт № 3. Определяли возможность более полного выделения из исходного материала (пшеница) фракции «семена». Использовали две колонки с зазорами между прутками 2,0 мм (колонка 1) и 2,2 мм (колонка 2). Решетный анализ проводили согласно опыту № 1.

Опыт № 4. Определяли полноту выделения крупных примесей. Колонка для выделения крупных примесей отличается тем, что имеет гребенки с увеличенным зазором между прутками. Исходный материал (пшеница) разделялся на две фракции при производительности 60 кг/ч (рис. 1). В отличие от предыдущих опытов все семена и мелкие примеси проходили через зазоры между прутками гребенок и опускались около боковых стенок, а по центру колонки перемещались крупные примеси. Использовали две колонки с зазорами между прутками 3,5 мм (колонка 1) и 4,5 мм (колонка 2). Решетный анализ проводили согласно опыту № 1.

Опыт № 5. Проводили сравнительные исследования работы гравитационной колонки и плоского качающегося решета при обработке семян пшеницы. Использовали колонку с зазорами между прутками 2,0 мм и решето с продолговатыми отверстиями 2,0 мм. Это решето было установлено в качестве подсевного на семяочистительную машину СМ-0,15 [15]. Другие установленные решета имели заведомо большие отверстия, чтобы через них свободно проходил весь очищаемый материал. Аспирационная система была отключена. Кинематический режим оптимальный – 430 колебаний в минуту при производительности 150 кг/ч. Решетный анализ проводили согласно опыту № 1.

Опыт № 6. Исследовали заклинивание гребенок семенами очищаемой культуры (пшеницы).

Первоначально рассматривали влияние производительности на заклинивание. С этой целью 5 кг семян пропускали через колонку. Время работы фиксировали секундомером. После обработки определяли места, где заклинились семена, и их количество.

Далее изучали, насколько стабильно происходит заклинивание гребенок семенами. С этой целью пропускали образец массой 1 кг при производительности 95 кг/ч и подсчитывали количество заклинившихся семян. Колонку очищали от семян и через нее повторно пропускали тот же образец после смешивания выходов. В такой последовательности проводили семь повторностей.

В третьей части опыта № 6, проведенной по выше изложенной методике, определяли возможность самоочистки прутков гребенок.

Результаты и обсуждение. **Опыт № 1.** На очистке пшеницы с производительностью колонки 1, равной 70,3 кг/ч, колонки 2 – 73,6 кг/ч получена чистота

семян 98,0 и 99,0%, что попадает в категории РС и ОС (ГОСТ Р 52325-2005) соответственно [16-18]. Потери семян в первой колонке составили 0,42%, по второй – 0,24%. В первой колонке по сравнению со второй в отходы попало больше семян с поперечным размером зерновок, превышающим установленный между прутками гребенок зазор (рис. 2). Увеличилась точность классификации частиц. Повысился выход фракции «семена» более, чем на 3%. Это свидетельствует о том, что прутки гребенок колонки 1 недостаточно жестки и в процессе работы происходит их колебательное движение, вследствие которого изменяется зазор между прутками. Лучшие результаты получены на колонке 2. В связи с этим все дальнейшие опыты проводили с поперечным диаметром прутков 0,9 мм.

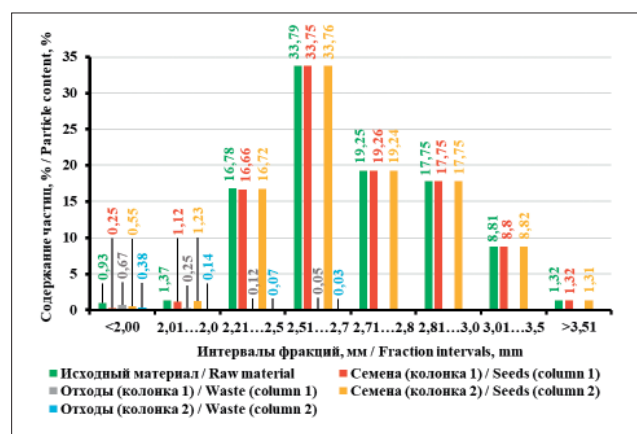


Рис. 2. Распределение частиц очищаемого материала по их толщине во фракциях, полученных в гравитационных колонках с различными диаметрами прутков

Fig. 2. Particle distribution of the material to be cleaned by their thickness in fractions obtained on gravity columns with different rod diameters

Опыт № 2. С увеличением производительности растут выход материала во фракцию «отход» и потери (рис. 3). При производительности 45,6 кг/ч выход фракции «отход» составил 0,5%, потери – 0,07; при производительности 227,8 кг/ч – 0,98 и 0,35% соответственно. Это удовлетворяет исходные требования на основные технологические операции для послеуборочной обработки селекционных семян [19, 20].

Опыт № 3. Для выделения мелких примесей использование колонок с большим размером зазора между прутками повышает в несколько раз как выход фракции «отход», так и потери (рис. 4). Первый показатель возрос с 0,62% (колонка 1) до 2,54% (колонка 2), потери – с 0,24 до 1,68% соответственно. Чистота семян при этом практически осталась такой же – 99,37 и 99,69%. Поэтому использование колонок для выделения мелких примесей с зазором между прутками, расширенным даже на 0,2 мм, нецелесообразно.

Опыт № 4. Высота колонки 500 мм не обеспечивает полного выделения как крупных примесей, так

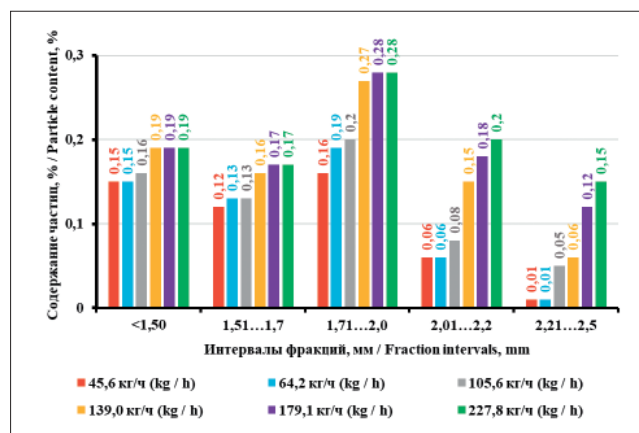


Рис. 3. Распределение частиц фракции «отход» по их толщине при разной производительности гравитационной колонки
Fig. 3. Distribution of particles of the "waste" fraction along their thickness at different productivity of the gravity column

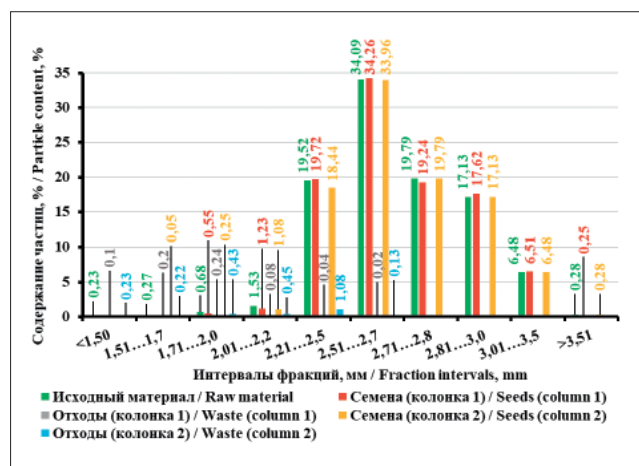


Рис. 4. Распределение частиц очищаемого материала по их толщине во фракциях, полученных в гравитационных колонках с различными зазорами между прутками при выделении мелких примесей
Fig. 4. Distribution of cleaned material particles along their thickness in fractions obtained on gravity columns with the release of small impurities with different gaps between the rods

и семян (рис. 5). В колонке 1 чистота фракции «семена» по отношению к исходному материалу понизилась до 77,72% (в исходном – 86,38%) из-за недостаточно эффективного выделения примесей и больших потерь (8,51%). В колонке 2 чистота фракции «семена» по сравнению с исходной также ухудшилась до 83,54%, но потери значительно уменьшились – с 8,51 до 1,96%.

Опыт № 5. При обработке исходного материала решетом и колонка обеспечивают одинаковое качество разделения материала при производительности 150 кг/ч (рис. 6). Чистота семян составила 99,78% на решетке и 99,49% в колонке. Зато решето значительно меньше допускает потери – 0,08 против 0,24%.

Опыт № 6. При всех уровнях производительности

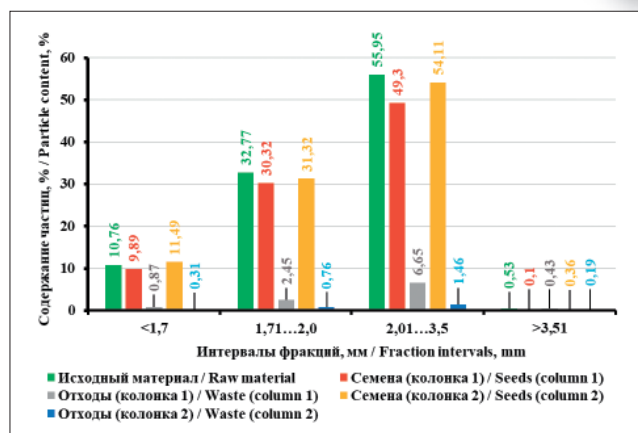


Рис. 5. Распределение частиц очищаемого материала по их толщине во фракциях, полученных при выделении крупных примесей в гравитационных колонках с различными зазорами между прутками
Fig. 5. Distribution of cleaned material particles along their thickness in fractions obtained on gravity columns with the release of large impurities with different gaps between the rods

происходит заклинивание семян между прутками гребенки или между прутком и стенкой колонки (табл. 1). Наименьшее заклинивание (6 семян) имеет место при небольшой производительности около 50 кг/ч. При повышении этого показателя количество заклинившихся семян колеблется в пределах 14-20 шт.

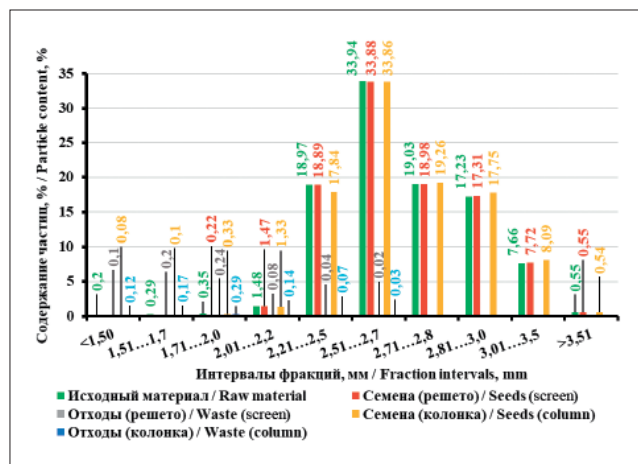


Рис. 6. Распределение частиц очищаемого материала по их толщине во фракциях, полученных на решетке и в гравитационной колонке при производительности 150 кг/ч
Fig. 6. Distribution of cleaned material particles along their thickness in fractions obtained on a screen and in a gravity column at a productivity of 150 kg/h

Во второй части опыта наблюдалось заклинивание 8-18 семян (табл. 2).

В третьей части опыта самоочистка гребенки не происходит, а прослеживается тенденция к росту числа заклинившихся семян: после седьмого пропуска стало 43 шт. (табл. 3). Следовательно, для предотвращения смешивания сортов после обработки партии

Таблица 1

Table 1

Количество заклинившихся семян в зависимости от производительности колонки, шт. THE NUMBER OF JAMMED SEEDS, DEPENDING ON THE PRODUCTIVITY OF THE COLUMN, PCS.						
Номер гребенки Comb number	Производительность, кг/ч Productivity, kg/h					
	49,7	81,6	98,6	130,9	138,5	171,4
1	1	1	3	1	1	2
2	—	1	2	1	1	3
3	—	2	1	—	1	2
4	—	—	2	1	3	2
5	—	5	4	3	—	—
6	2	2	2	5	1	3
7	3	4	4	1	3	1
8	—	2	2	1	1	2
9	—	—	—	6	3	—
Сумма / Total	6	15	20	19	14	15

Таблица 3

Table 3

Количество заклинившихся семян без очистки колонки THE NUMBER OF JAMMED SEEDS WITHOUT CLEANING THE COLUMN							
Номер гребенки Comb number	Номер повторности опыта Experiment replication number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	8	8	9	9	9	9
2	—	—	—	1	—	—	—
3	1	—	—	—	—	—	—
4	2	1	—	—	4	4	5
5	6	—	1	3	2	2	3
6	7	7	7	7	9	7	10
7	—	2	2	4	4	4	5
8	—	—	—	2	1	3	7
9	2	—	—	2	2	1	4
Сумма / Total	20	18	18	28	31	30	43

селекционных образцов колонку необходимо доочищать вручную.

Выводы. Гравитационная колонка для выделения

Таблица 2

Table 2

Количество заклинившихся семян при производительности 96 кг/ч, шт. NUMBER OF JAMMED SEEDS AT A PRODUCTIVITY OF 96 KG/H, PCS.							
Номер гребенки Comb number	Номер повторности опыта Experiment replication number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	—	—	1	1	1	4
2	—	1	2	1	1	—	—
3	—	—	—	—	—	—	2
4	2	1	—	—	4	9	3
5	—	2	1	2	—	—	—
6	2	1	3	3	1	—	4
7	3	6	1	2	1	—	2
8	—	1	2	1	1	2	2
9	—	1	1	—	1	4	1
Сумма / Total	8	13	10	10	10	16	16

мелких примесей при очистке селекционных семян пшеницы с высокой эффективностью разделяет частицы, если они отличаются друг от друга по толщине не менее 0,3 мм при зазоре между прутками гребенки 2,0 мм и диаметре поперечного сечения прутка 0,9 мм.

При поперечном сечении колонки 60×70 мм достигается производительность до 150 кг/ч.

Решето как рабочий орган и гравитационная колонка для выделения мелких примесей обеспечивают практически одинаковое качество разделения материала.

Имеет место незначительное заклинивание гребенок семенами. Чем выше производительность, тем больше заклинивание. В зависимости от производительности (50-170 кг/ч) заклинивание составляет 6-20 семян.

Высота колонки для выделения крупных примесей при зазоре между прутками гребенки 4,0 мм должна быть в 2 раза больше высоты колонки для выделения мелких примесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jokić G., Prole S., Butaš D., Sedlar A., Bugarin R., Turan J. Analysis the Parameters of Quality Sunflower Hybrid Seed after Processing on Fine Cleaner, Trijer Machine and Gravity Separator. *Savremena poljoprivredna tehnika*. 2016. N42. 25-38.
- Krzysiak Z., Samociuk W., Skic A., Bartnik G., Zarajczyk J., Szmigielski M., Dziki D., Wierzbicki S., Krzywonos L. Effect of Sieve Drum Inclination Angle on Wheat Grain Cleaning in a Novel Rotary Cleaning Device. *Transactions of the ASABE*. 2017. N60. 1751-1758.
- Neale M.A., Hobson R.N., Price J.S., Bruce D.M. Effectiveness of Three Types of Grain Separator for Crop Matter Harvested with a Stripping Header. *Biosystems Engineering*. 2003. N84. 177-191.

- Kaliniewicz Z., Żuk Z., Krzysiak Z. Influence of Steel Plate Roughness on the Frictional Properties of Cereal Kernels. *Sustainability*. 2018. N10. 1003.
- Decker E.A., Rose D.J., Stewart D. Processing of Oats and the Impact of Processing Operations on Nutrition and Health Benefits. *British Journal of Nutrition*. 2014. N112. 58-64.
- Jadwisieńczyk K., Kaliniewicz Z. Analysis of the mustard seeds cleaning process. Part 1. Physical properties of seeds. *Inżynieria Rolnicza*. 2011. N9(134). 57-64.
- Kram B.B., Woliński J., Wolińska A. Comparative studies on geometric traits of nutlets with and without seed cover in Red corolla buckwheat. *Acta Agrophysica*. 2007. N9(3). 657-664.
- Związki między agrofizyka a genetyka i hodowla roślin zbo-

zowych oraz strączkowych [Relations between agrophysics and genetics and breeding of cereals and legumes]. *Acta Agrophysica*. 2009. Iss. 174. 1-55.

9. Rybiński W., Szot B., Rusinek R., Bocianowski J. Estimation of geometric and mechanical properties of seeds of Polish cultivars and lines representing selected species of pulse crops. *International Agrophysics*. 2009. N23(3). 257-267.

10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. ВИМ – основатель производства селекционной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2008. Т. 2. N4. С. 9-11.

11. Измайлов А.Ю., Лачуга Ю.Ф., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. Т. 4. N1. С. 2-8.

12. Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Разработка и исследования воздушно-решетной зерноочистительной машины МЗУ-20Д // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N2. С. 59-66.

13. Бурков А.И. Тенденции развития воздушно-решетных зерноочистительных машин на современном этапе // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. N2(63). С. 4-15.

14. Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработ-

ки и переработки зерна плющением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 16-21.

15. Анишкин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ. 2004. 200 с.

16. Moskovsky M.N., Chaava M.M., Chumak I.V. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N6. 2157-2165.

17. Werby R.A. Performance Cleaning Unit for Clover Grains Affecting Some Physical and Mechanical Properties. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 2010. N27(1). 266-283.

18. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4. 83-86.

19. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. Т. 5. N1. С. 11-14.

20. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М. и др. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. М.: Росинформаготех. 2005. 272 с.

REFERENCES:

1. Jokić G., Prole S., Butaš D., Sedlar A., Bugarin R., Turan J. Analysis the Parameters of Quality Sunflower Hybrid Seed after Processing on Fine Cleaner, Trijer Machine and Gravity Separator. *Savremena poljoprivredna tehnika*. 2016. N42. 25-38 (In English).

2. Krzysiak Z., Samociuk W., Skic A., Bartnik G., Zarajczyk J., Szmigielski M., Dzik D., Wierzbicki S., Krzywonos L. Effect of Sieve Drum Inclination Angle on Wheat Grain Cleaning in a Novel Rotary Cleaning Device. *Transactions of the ASABE*. 2017. N60. 1751-1758 (In English).

3. Neale M.A., Hobson R.N., Price J.S., Bruce D.M. Effectiveness of Three Types of Grain Separator for Crop Matter Harvested with a Stripping Header. *Biosystems Engineering*. 2003. N84. 177-191 (In English).

4. Kaliniewicz Z., Żuk Z., Krzysiak Z. Influence of Steel Plate Roughness on the Frictional Properties of Cereal Kernels. *Sustainability*. 2018. N10. 1003 (In English).

5. Decker E.A., Rose D.J., Stewart D. Processing of Oats and the Impact of Processing Operations on Nutrition and Health Benefits. *British Journal of Nutrition*. 2014. N112. 58-64 (In English).

6. Jadwisieńczak K., Kaliniewicz Z. Analysis of the mustard seeds cleaning process. Part I. Physical properties of seeds. *Inżynieria Rolnicza*. 2011. N9(134). 57-64 (In English).

7. Kram B.B., Woliński J., Wolińska A. Comparative studies on geometric traits of nutlets with and without seed cover in Red corolla buckwheat. *Acta Agrophysica*. 2007. N9(3). 657-664 (In English).

8. Rybiński W., Szot B. Związki między agrofizyka a genetyka i hodowla roślin zbożowych oraz strączkowych [Relations between agrophysics and genetics and breeding of cereals and legumes]. *Acta Agrophysica*. 2009. Iss. 174. 1-55 (In Polish).

9. Rybiński W., Szot B., Rusinek R., Bocianowski J. Estimation of geometric and mechanical properties of seeds of Polish cultivars and lines representing selected species of pulse crops. *International Agrophysics*. 2009. N23(3). 257-267 (In English).

10. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. VIM – osnovatel' proizvodstva selektsionnoy tekhniki v Rossii [VIM is the founder of the production of breeding equipment in Russia]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2008. Vol. 2. N4. 9-11 (In Russian).

11. Izmaylov A.Yu., Lachuga Yu.F., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 4. N1. 2-8 (In Russian).

12. Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Razrabotka i issledovaniya vozduшно-reshetnoy zernoochistitel'noy mashiny MZU-20D [Development and research of air-sieve grain cleaning machine MZU-20D]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 59-66 (In Russian).

13. Burkov A.I. Tendentsii razvitiya vozduшно-reshetnykh zernoochistitel'nykh mashin na sovremennom etape [Trends in

the development of air-sieve grain cleaning machines at the present stage]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2018. N2(63). 4-15 (In Russian).

14. Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Fraktsionnaya tekhnologiya i ustroystva posleuborochnoy obrabotki i pererabotki zerna plyushcheniem [Fractional technology and devices for post-harvest processing and processing of grain by crushing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 16-21 (In Russian).

15. Aniskin V.I., Nekipelov Yu.F. Mekhanizatsiya opytnykh rabot v selektsii, sortoispytanii i pervichnom semenovodstve zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Mechanization of experimental work in breeding, variety testing and primary seed production of grain and leguminous crops]. Moscow: VIM. 2004. 200 (In Russian).

16. Moskovsky M.N., Chaava M.M., Chumak I.V. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N6. 2157-2165 (In English).

17. Werby R.A. Performance Cleaning Unit for Clover Grains Affecting Some Physical and Mechanical Properties. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 2010. N27(1). 266-283 (In English).

18. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4. 83-86 (In English).

19. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements for technological operations in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. Vol. 8. N1. 11-14 (In Russian).

20. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., et al. Iskhodnye trebovaniya na bazovye mashinnye tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements for basic machine technological operations in crop production]. Moscow: Rosinformagotekh. 2005. 272 (In Russian).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11.09.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 11.09.2020

Статья принята к публикации 20.11.2020
The paper was accepted
for publication on 20.11.2020