

УДК 631.362.3

А. И. Ермаков¹, кандидат технических наук, доцент,
С. А. Зеленко², кандидат технических наук,
А. А. Язенков³

^{1,2}Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь, +375 (17) 293 95 04, ¹ermakov@bntu.by, ²sergey-zelenko@mail.ru

³Закрытое акционерное общество «Борисовский завод «Металлист»», ул. 1-го Июля, 6, ком. 1, 222520 Борисов, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КАНАЛА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье представлены результаты исследования влияния режимных параметров пневматического канала зерноочистительной машины МУЗ-16 на эффективность ее работы. Проведенными исследованиями установлено, что система окончательной аспирации сепаратора МУЗ-16 имеет значительные подсосы воздуха, что снижает эффективность отделения примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами. Для предотвращения подсосов воздуха предложена новая схема пневматического канала окончательной аспирации. Рекомендуемые технические решения позволят практически исключить подсосы воздуха в системе окончательной аспирации.

Ключевые слова: зерноочистительная машина; аспирационная система; пневматический канал; скорость воздуха; расход воздуха.

Рис. 4. Табл. 1. Библиогр.: 13 назв.

A. I. Ermakov¹, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
S. A. Zelenko², PhD in Technical Sciences,
A. A. Yazenkov³

^{1,2}Institution of Education "Belarusian National Technical University", 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (17) 293 65 05, ¹ermakov@bntu.by, ²sergey-zelenko@mail.ru

³JSC Borisov Plant Metallist, Room 6, 1 1st July Str., 222520 Borisov, the Republic of Belarus

INVESTIGATION THE IMPACT OF THE PNEUMATIC CHANNEL OPERATING PARAMETERS OF THE GRAIN CLEANING MACHINE

The article presents the findings of a study that investigated the impact of operating parameters on the efficiency of the pneumatic channel of the grain-cleaning machine MUZ-16. The findings of the present study have established that the final aspiration system of the separator MUZ-16 exhibits significant air leaks, which in turn reduces the efficiency of separating impurities with different aerodynamic properties. To address this issue, a novel configuration for the pneumatic channel of the final aspiration system is proposed. The implementation of these novel technical solutions is expected to result in the effective elimination of air leaks within the final aspiration system.

Key words: grain cleaning machine; aspiration system; pneumatic channel; air speed; airflow.

Fig. 4. Table 1. Ref.: 13 titles.

Введение. Зерновой ворох, поступающий на зерноочистительно-сушильные комплексы, состоит из смеси основной зерновой культуры, сорной и зерновой примеси [1]. Определяющим звеном, влияющим на сохранность зерна, является предварительная очистка (сепарирование). Сепарирование — разделение неоднородной зерновой смеси на составляющие ее компоненты, которое проводят в зерноочистительных машинах (сепараторах). Принцип их работы и конструкция рабочих органов позволяют разделять зерновой ворох на фракции, различающиеся физико-механическими свойствами отдельных компонентов, которые являются предметами исследований отечественных и зарубежных ученых: В. В. Гортинский, Н. П. Сычугов [1], А. Д. Галкин [2], А. М. Гиевский [3], В. А. Николаев [4], С. Ф. Сороченко [5] и др. [6—13]. Наиболее распространенными зерноочистительными машинами в настоящее время являются воздушно-ситовые сепараторы, выделяющие примеси, отличающиеся геометрическими размерами и аэродинамическими свойствами.

В Республике Беларусь налажен выпуск широкой гаммы зерноочистительного оборудования, в том числе воздушно-ситовых сепараторов. Ведущими производителями машин для очистки и сортировки зерна являются СООО «Элезер» и компания «Полымя» (ЗАО «Борисовский завод «Металлист»»).

Материалы и методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований по изучению влияния режимных параметров пневматического канала зерноочистительной машины МУЗ-16 на эффективность ее работы был изготовлен экспериментальный стенд (рисунок 1) [13].

Разработанный экспериментальный стенд выполнен таким образом, что его конструкция позволяет изменять и регулировать конструктивные и режимные параметры лабораторного макета второго аспирационного канала машины универсальной зерноочистительной МУЗ-16: скорость и расход воздуха в канале, подачу исходной смеси зерна, размеры аспирационного канала.

На основе анализа литературной информации о проведенных экспериментальных исследованиях процесса воздушного сепарирования различных зерновых культур определены основные режимно-конструктивные параметры аспирационного канала МУЗ-16, которые оказывают влияние на эффективность процесса сепарирования.

Технологическая эффективность процессов сепарирования в зерноочистительных машинах определяется следующими основными показателями:

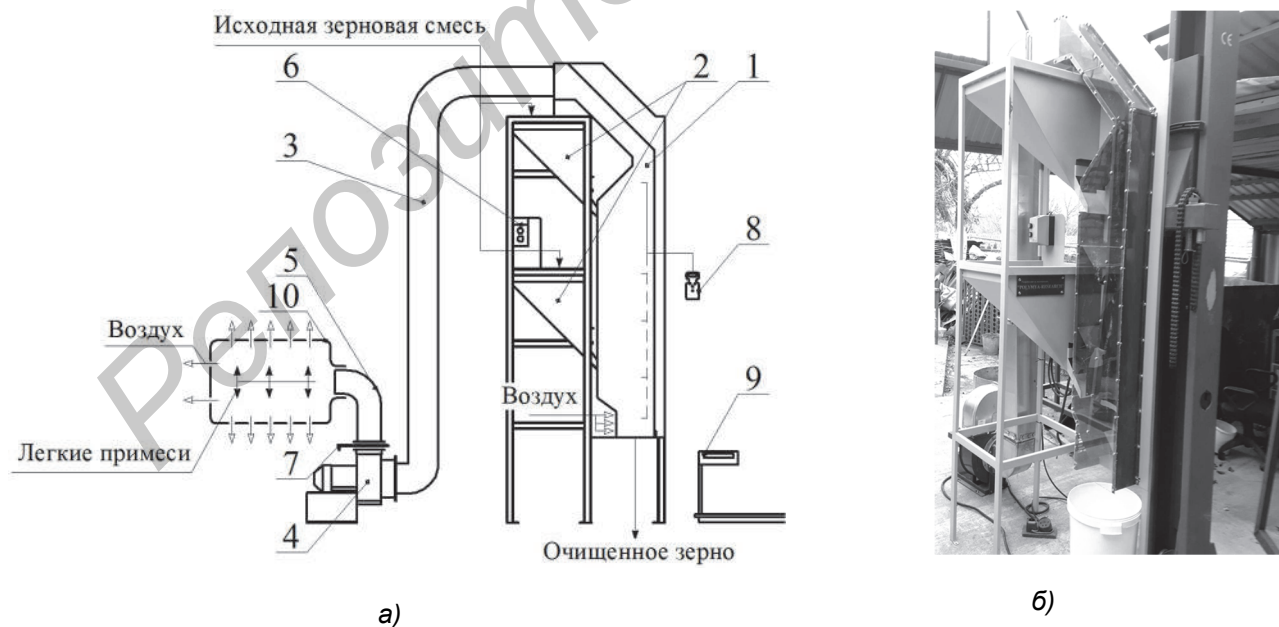
– производительностью:

$$Q = 3600M / \tau_c,$$

где Q — производительность, кг / ч;

M — количество исходной зерновой массы, поступающей на сепарирование, кг;

τ_c — время сепарирования, с;



а — схема экспериментального стенда; б — общий вид экспериментального стенда; 1 — лабораторный макет пневматического канала окончательной аспирации МУЗ-16; 2 — бункера для исходной зерновой смеси; 3, 5 — воздуховод; 4 — вентилятор; 6 — магнитный пускатель двигателя вентилятора; 7 — заслонка; 8 — термоанемометр; 9 — весы; 10 — фильтровальная перегородка

Рисунок 1. — Схема экспериментального стенда

– удельной производительностью:

$$q_{\text{уд}} = Q / B,$$

где $q_{\text{уд}}$ — удельная производительность сепаратора, кг / (ч · см);

B — ширина аспирационного канала, см;

– коэффициентом очистки от примесей:

$$E = 100(M_{\text{исх}} - M_{\text{сем}}) / M_{\text{исх}},$$

где E — коэффициент очистки, %;

$M_{\text{исх}}$ — количество аэродинамически отделимых примесей в исходной зерновой массе, кг;

$M_{\text{сем}}$ — количество аэродинамически отделимых примесей в очищенных семенах, кг.

Принцип воздушного сепарирования, осуществляемый в вертикальном аспирационном канале, заключается в подаче зерновой смеси в канал и продувании ее восходящим воздушным потоком, при этом очень важными параметрами воздушного потока являются скорость воздуха и распределение воздушного потока в поперечном сечении канала:

$$v = (V - V_{\text{п}}) / F,$$

где v — скорость воздуха в поперечном сечении канала, м / с;

V — объемная производительность вентилятора, м³ / с;

$V_{\text{п}}$ — объем подсосов воздуха из отверстий, расположенных выше поперечного сечения канала, в которое подается зерновая смесь, м³ / с;

F — площадь поперечного сечения аспирационного канала в месте подачи зерновой смеси, м².

После обобщения результатов предварительной серии экспериментов по исследованию влияния режимных параметров аспирационного канала на направление движения и скорости в нем воздушных потоков в качестве входных факторов и их интервалов, оказывающих значительное влияние на процесс аэросепарирования, были выбраны:

– удельная производительность сепаратора $q_{\text{уд}} = 0 \dots 0,666$ кг / (ч · см);

– объемная производительность вентилятора $V = 0,14 \dots 0,4$ м³ / с.

В качестве выходных параметров, характеризующих эффективность аэросепарирования, были приняты:

– скорость воздуха в поперечном сечении канала v , м / с;

– объем подсосов воздуха из отверстий, расположенных выше поперечного сечения канала, в которое подается зерновая смесь, $V_{\text{п}}$, м³ / с;

– объем забора воздуха через заборную решетку воздуха в канал $V_{\text{з}}$, м³ / с.

Результаты исследования и их обсуждение. Для проведения экспериментальных исследований был спланирован и проведен полнофакторный эксперимент, который позволил подобрать оптимальное количество необходимых опытов и увеличить точность обработки полученных экспериментальных данных. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

На основании данных таблицы 1 построены диаграммы, показывающие зависимость количества подсосов воздуха от удельной подачи (рисунок 2).

Из диаграмм видно, что подсосы воздуха во всех экспериментах колеблются от 51,53 до 24,08 %. При этом прослеживается тенденция к снижению количества подсосов с увеличением расхода вентилятора.

На рисунке 3 представлены диаграммы, показывающие зависимость количества подсосов от удельной производительности при фиксированных значениях расхода воздуха в вентиляторе.

Т а б л и ц а 1. — Результаты экспериментальных исследований влияния режимных параметров аспирационного канала на направление движения и скорости в нем воздушных потоков

Номер опыта	Входные параметры		Выходные параметры		
	$q_{уд}$, кг / (ч · см)	V , м ³ / с	$V_{п}$, м ³ / с	$V_{з}$, м ³ / с	v , м / с
1	0	0,15	0,07729	0,0174	2,840313
2	0	0,2	0,093	0,03016	4,179688
3	0	0,3	0,14933	0,03248	5,885625
4	0	0,4	0,17312	0,03016	8,8625
5	222	0,15	0,07512	0,01856	2,925
6	222	0,2	0,08602	0,03016	4,4525
7	222	0,3	0,12172	0,03712	6,964063
8	222	0,4	0,15108	0,03944	9,723438
9	444	0,15	0,05736	0,02088	3,61875
10	444	0,2	0,07406	0,02204	4,919375
11	444	0,3	0,12224	0,02343	6,94375
12	444	0,4	0,1398	0,02552	10,16406
13	666	0,15	0,05632	0,01392	3,659375
14	666	0,2	0,05744	0,0167	5,56875
15	666	0,3	0,08336	0,02088	8,4625
16	666	0,4	0,09632	0,02552	11,8625

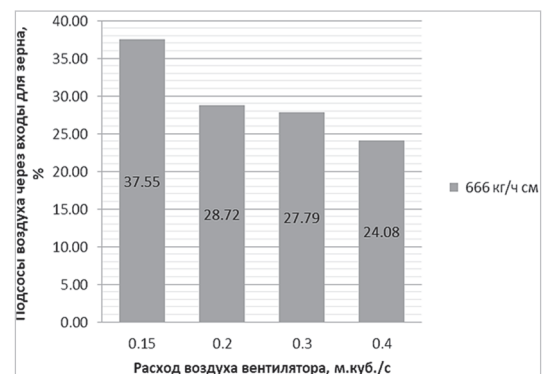
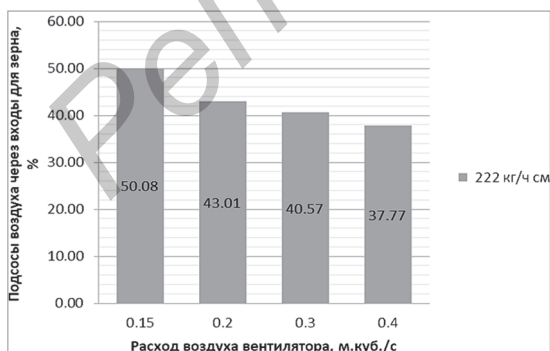
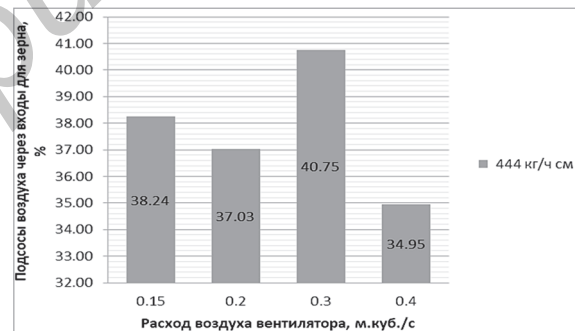
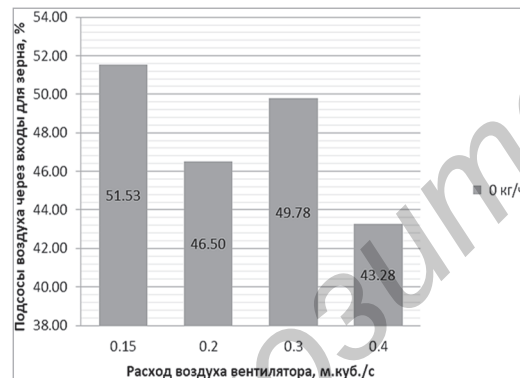


Рисунок 2. — Зависимости подсоса воздуха от расхода вентилятора при различной удельной подаче продукта в аспирационный канал

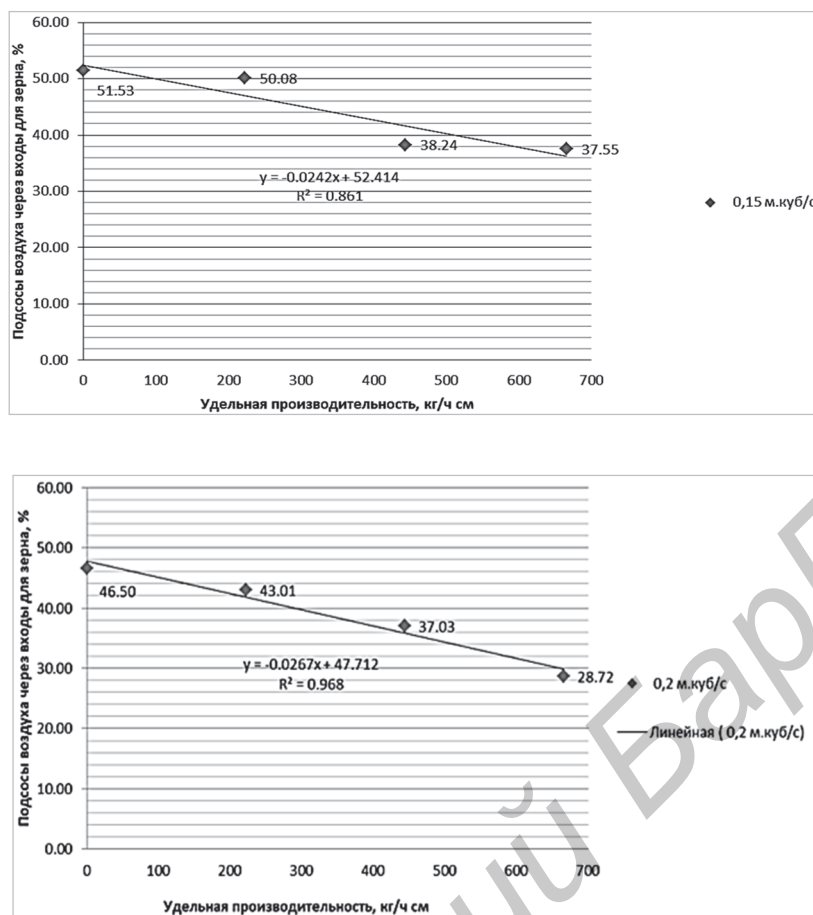


Рисунок 3. — Зависимости количества подсосов от удельной производительности при фиксированных значениях расхода воздуха в вентиляторе

Из диаграмм на рисунке 3 видно, что с увеличением удельной производительности количество подсосов снижается с 51,53 до 37,55 % при расходе воздуха 0,15 м³/с и с 46,5 до 28,72 % при расходе воздуха 0,2 м³/с.

Из таблицы 1 видно, что при расходе воздуха в вентиляторе 0,3 м³/с и выше скорость воздуха v , м/с, превышает 5,5 м/с, наблюдается унос зерна вместе с примесями, о чем свидетельствуют данные протоколов экспериментальных исследований. Можно сделать вывод, что дальнейшие исследования влияния режимных и конструктивных параметров аспирационного канала на направление движения и скорости в нем воздушных потоков следует проводить при расходе воздуха, не превышающем 0,2 м³/с.

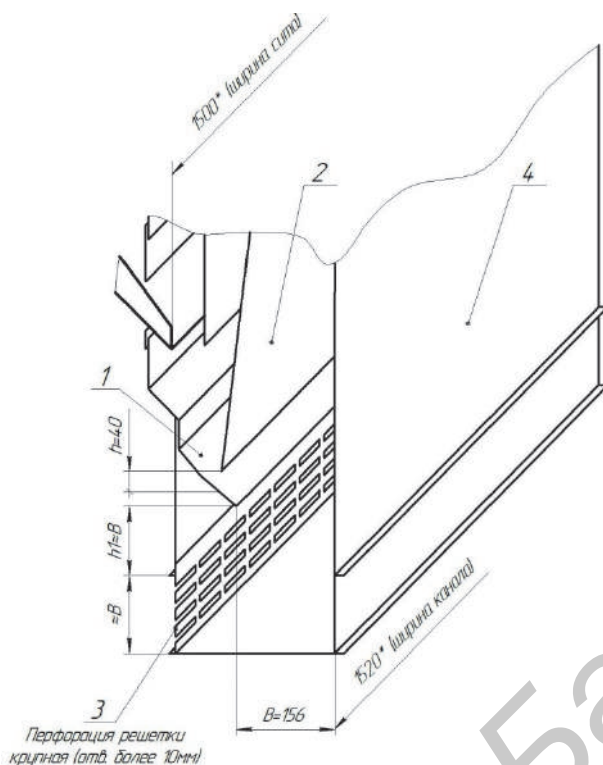
Также из экспериментальных данных таблицы 1 видно, что расход воздуха через заборную решетку канала незначителен и колеблется от 15,08 до 6,38 % от расхода вентилятора при различных режимных параметрах вентилятора.

Из анализа экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- подсосы воздуха через отверстия для подачи зерновой массы в канал во всем диапазоне исследуемых режимных параметров составляют от 51,53 до 24,08 %, что значительно снижает эффективность работы аспирационного канала;

- расход воздуха через заборную решетку канала незначителен и колеблется от 15,08 до 6,38 % от расхода вентилятора, что свидетельствует о неудачном расположении заборной решетки и коррелирует с данными компьютерного моделирования.

Для предотвращения подсосов воздуха предложена новая схема и рекомендуемые параметры пневматического канала окончательной аспирации зерноочистительного сепаратора МУЗ-16 (рисунок 4).



1 — пластина для поступления зерна в канал; 2 — передняя стенка канала; 3 — заборная решетка для воздуха; 4 — задняя стенка аспирационного канала;
 B — глубина пневматического канала

Рисунок 4. — Схема и рекомендуемые параметры пневматического канала окончательной аспирации зерноочистительного сепаратора МУЗ-16

Предложенная новая конструкция пневматического канала окончательной аспирации позволит практически исключить подсосы воздуха при максимальной производительности машины 100 т / ч, но при минимальной производительности 16 т / ч величина подсосов через зазор h составит не более 10 % от расхода воздуха аспирационной системы.

Компания «Полымя» планирует изготовить опытный образец зерноочистительного сепаратора МУЗ-16 с учетом предложенных технических решений. В процессе проведения производственных испытаний будет проводиться оценка эффективности предложенных технических решений и целесообразность их применения в серийном производстве.

Заключение. В результате анализа экспериментальных данных по исследованию влияния режимных параметров пневматического канала зерноочистительного сепаратора МУЗ-16 были выявлены основные причины снижения эффективности сепарирования зернового вороха. Для устранения выявленных недостатков была предложена новая схема пневматического канала окончательной аспирации зерноочистительного сепаратора МУЗ-16. Новые технические решения позволяют практически исключить подсосы воздуха, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность процесса сепарирования. Во время производственных испытаний компанией «Полымя» будет проведена техническая и технологическая оценка предложенных решений и установлена целесообразность их применения в серийном производстве.

Работа выполнена в рамках договора на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы с закрытым акционерным обществом «Борисовский завод «Металлист»» от 15.09.2023 № ВНК-0923.

Список цитируемых источников

1. Сычугов, Н. П. Машины, агрегаты и комплексы послеуборочной обработки зерна и семян трав : монография / Н. П. Сычугов, Ю. В. Сычугов, В. И. Исупов. — Киров : ВЕСИ, 2015. — 404 с.
2. Галкин, А. Д. Машины и оборудование послеуборочной обработки зерна и подготовки семян из влажного комбайнового вороха : рекомендации / А. Д. Галкин, В. Д. Галкин. — Пермь : Прокрость, 2020. — 47 с.
3. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А. М. Гиевский, В. И. Оробинский, А. В. Чернышов [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2016. — № 4. — С. 87—95.
4. Николаев, В. А. Параметры траектории зерновки после касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины / В. А. Николаев // Аграрный вестник Верхневолжья. — 2020. — № 2. — С. 71—76.
5. Сороченко, С. Ф. Применение центробежно-воздушного сепаратора для модернизации стационарной технологической линии очистки зерна / С. Ф. Сороченко, Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2023. — № 5 (223). — С. 78—85.
6. Поздняков, В. М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / В. М. Поздняков, С. А. Зеленко, А. И. Ермаков // Вестник БГСХА. — 2014. — № 1. — С. 163—167.
7. Повышение эффективности работы двухаспирационной пневмосистемы универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины / А. М. Гиевский, А. П. Тарасенко, В. И. Оробинский, А. В. Чернышов // Тракторы и сельхозмашины. — 2014. — № 5. — С. 32—34.
8. Бурков, А. И. Тенденции развития воздушно-решетных зерноочистительных машин на современном этапе / А. И. Бурков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2018. — № 2 (63). — С. 4—15.
9. Two-aspiration air-sieve grain cleaning machines of new generation / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2022. — Vol. 954, no. 1. — P. 12—26.
10. Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening forage grain / P. Savinyh [et al.] // Proceedings of 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Engineering for Rural Development. — 2018. — P. 124—130.
11. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretdinov [et al.] // Journal of Applied Engineering Science. — 2019. — Vol. 17, no. 4. — P. 529—534.
12. Пути совершенствования решет зерноочистительных машин / У. К. Сабиев, А. Ю. Головин, С. Е. Шакарова, С. Г. Ахметов // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях. — 2019. — С. 358—360.
13. Ермаков, А. И. Совершенствование аспирационной системы зерноочистительной машины / А. И. Ермаков, С. А. Зеленко // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». — 2024. — № 1 (15). — С. 45—51.

Поступила в редакцию 06.02.2025.