

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 631.362.3

А. И. Ермаков¹, кандидат технических наук, доцент,

С. А. Зеленко², кандидат технических наук

¹Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 293 65 05, ermakov@bntu.by

²Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 357 78 97, zelenko.pererab@bsatu.by

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСПИРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Описана технология послеуборочной обработки зернового вороха на предприятиях агропромышленного комплекса, перечислены основные признаки разделения, используемые при очистке зерна основной культуры от примесей. Представлены данные об устройстве и принципе действия аспирационной системы воздушно-решетной зерноочистительной машины МУЗ-16 производства ЗАО «Борисовский завод «Металлист»». Описана методика проведения экспериментальных исследований работы аспирационной системы МУЗ-16 в производственных условиях и на лабораторном макете пневматического канала окончательной аспирации. Представлены результаты экспериментальных исследований, показавшие, что часть аспирационной системы МУЗ-16, обеспечивающая предварительную аспирацию, работает эффективно, используя для очистки зерновой смеси 1 145 м³/ч воздуха, а подсосы составляют только 6,01 % от засасываемого в данную часть аспирационной системы воздуха, при этом часть системы, отвечающая за окончательную аспирацию зерновой смеси, неэффективна и имеет значительные подсосы воздуха. Установлено, что зазор между передней стенкой пневматического канала и пластиной для поступления зерна в канал существенно влияет на направление воздушных потоков в пневматическом канале окончательной аспирации, его значение в 4 см обеспечивает возможность работы канала на максимальной удельной производительности 666 кг / (см · ч) с минимальными подсосами воздуха в 7,70 % от количества воздуха, поступающего в канал. Представлены рекомендации по совершенствованию конструкции аспирационной системы МУЗ-16.

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

Рис. 6. Библиогр.: 10 назв.

A. I. Ermakov¹, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

S. A. Zelenko², PhD in Technical Sciences

¹Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 293 65 05, ermakov@bntu.by

²Institution of Education “Belarusian State Agrarian Technical University”, 99 Nezavisimosti Ave., 220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 357 78 97, zelenko.pererab@bsatu.by

IMPROVING THE GRAIN CLEANING MACHINE ASPIRATION SYSTEM

The technology for post-harvest processing of grain heaps at agro-industrial complex enterprises is described, and the main separation features used in cleaning the main crop grain from impurities are listed. Data on the design and principle of the aspiration system operation of the MUZ-16 air-sieve grain cleaning machine produced by JSC Borisov Plant Metallist are presented. The methodology for conducting experimental studies of the MUZ-16 aspiration system operation in production conditions and on a laboratory model of the final aspiration pneumatic channel is described. The results of experimental studies are presented. It shows that the part of the MUZ-16 aspiration system that provides preliminary aspiration works effectively, using 1 145 m³ / h of air to clean the grain mixture, and suction amounts to only 6.01 % of the air sucked into this part of the aspiration system. In this case, the part of the system responsible for the final aspiration of the grain mixture is not effective and has significant air leaks. It has been established that the gap between the front wall of the pneumatic channel and the plate for the grain entry into the channel significantly affects the air flows direction in the pneumatic channel of final aspiration; its value of 4 cm allows the channel to operate at a maximum

specific productivity of 666 kg / (cm · h) s minimal air leaks of 7.70 % of the air amount entering the channel. Recommendations for improving the design of the MUZ-16 aspiration system are presented.

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

Fig. 6. Ref.: 10 titles.

Введение. Зерновой ворох сельскохозяйственных культур, получаемый после обмолота и поступающий на послеуборочную обработку, представляет собой неоднородную смесь, состоящую из зерна основной культуры, а также сорной и зерновой примесей [1; 2]. Послеуборочная обработка — обязательный технологический процесс, включающий приемку зернового вороха, предварительную и первичную его очистку, сушку или активное вентилирование, вторичную очистку и сортирование [3; 4].

Очистка зернового вороха — процесс отделения примесей от зерна основной культуры, который осуществляется при помощи зерноочистительных машин (сепараторов) и основан на различии свойств зерна основной культуры и примесей, которые называют признаками разделения. В качестве признаков разделения могут использоваться: геометрические размеры (толщина, ширина, длина), аэродинамические свойства, форма, магнитные свойства, плотность, коэффициент трения, упругость, цвет [5—10]. Широкое применение в послеуборочной обработке нашли зерноочистительные машины, отделяющие примеси, отличающиеся толщиной, шириной и аэродинамическими свойствами. Машины данного типа оснащаются пространственными или плоскими ситовыми поверхностями (решетками), на которых происходит отделение примесей, отличающимися толщиной и шириной, а также аспирационными системами. Аспирационные системы состоят из одного или нескольких пневматических каналов, в которых при помощи воздушного потока, проходящего через зерновую смесь, осуществляется отделение примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами, а также могут включать соединенные с каналами осадочные камеры или другие устройства, предназначенные для очистки воздушного потока от примесей, и вентиляторы. Зерноочистительные машины данного типа называют воздушно-ситовыми, или воздушно-решетными, сепараторами.

Ведущим производителем зерноочистительного оборудования для послеуборочной обработки в Республике Беларусь является ЗАО «Борисовский завод «Металлист»», выпускающий оборудование под брендом «Полымя». В линейке предприятия имеются воздушно-решетные сепараторы МУЗ, КСП и Grain Max.

Целью представленной работы является исследование работы аспирационной системы воздушно-решетной зерноочистительной машины МУЗ-16 и разработка предложений по ее совершенствованию.

Материалы и методы исследования. Исследования работы аспирационной системы воздушно-решетной зерноочистительной машины МУЗ-16 проводились в несколько этапов.

На первом этапе исследований была изучена работа аспирационной системы в производственных условиях. Принципиальная схема машины и устройство ее аспирационной системы представлены на рисунке 1.

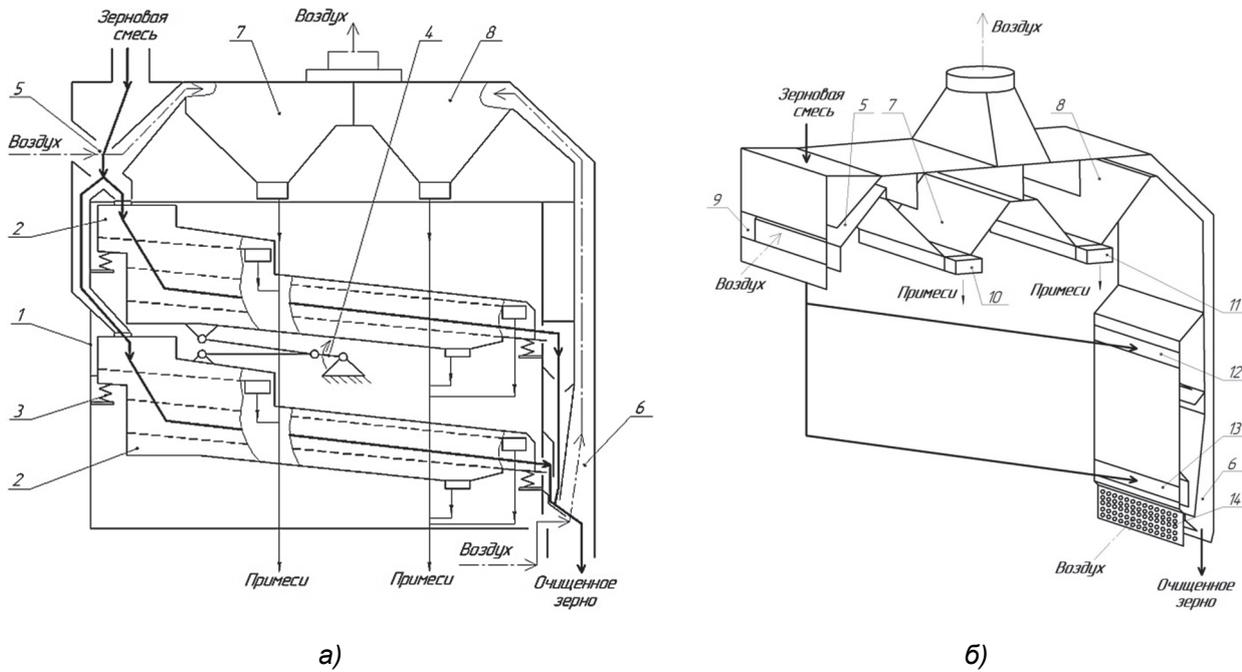
В качестве исследуемых параметров первого этапа были выбраны скорость и расход воздуха, поступающего в аспирационную систему машины через различные конструктивные элементы: забор воздуха через входы 9 и 14, подсосы воздуха через выходы примесей 10, 11 и входы зерна 12, 13 (см. рисунок 1, б).

Для измерения скорости воздуха использовали термоанемометр Testo 425 с зондом для измерений температуры и скорости воздуха Ø 7,5 мм и телескопической рукояткой.

Расход воздуха, поступающего в аспирационную систему машины через различные конструктивные элементы, рассчитывался по формуле

$$V_i = 3\,600 v_{\text{ср}i} S_i,$$

где V_i — расход воздуха, поступающего в систему через i -й элемент, м³ / ч;
 $v_{\text{ср}i}$ — среднее значение скорости воздуха в сечении i -го элемента, м / с;
 S_i — площадь сечения i -го элемента, м².



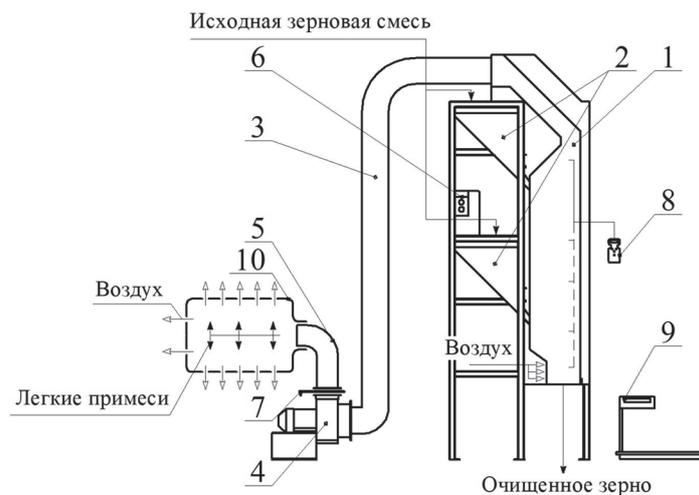
1 — корпус; 2 — ситовые кузова; 3 — виброопоры; 4 — приводной эксцентриковый механизм; 5 — пневматический канал предварительной аспирации; 6 — пневматический канал окончательной аспирации; 7, 8 — осадочные камеры; 9, 14 — входы воздуха в пневматические каналы; 10, 11 — выходы примесей из осадочных камер; 12, 13 — входы зерновой смеси в пневматический канал окончательной аспирации

**Рисунок 1. — Воздушно-решетчатая зерноочистительная машина МУЗ-16:
а — принципиальная схема; б — аспирационная система**

Производительность по исходной зерновой смеси составляла 40 т / ч. Параметры исходной зерновой смеси были следующие: гречиха, влажность — 15,2 %; сорная примесь — 4,2 %, вредные примеси — 0,2 %, зерновая примесь — 1,4 %.

На втором этапе исследований изучили влияние режимных и конструктивных параметров пневматического канала окончательной аспирации на скорость и расход воздуха, поступающего в него.

Исследования второго этапа проводились на экспериментальном стенде, схема которого представлена на рисунке 2.



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 2. — Схема экспериментального стенда

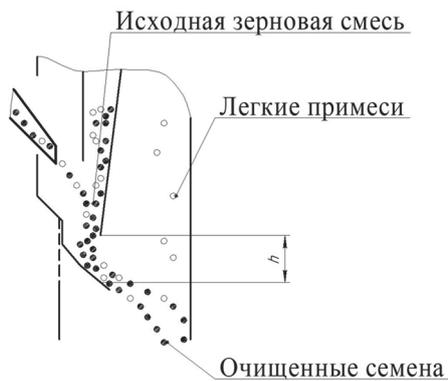


Рисунок 3. — Схема аспирационного канала с указанием места зазора h

в пневматический канал V , м³/с.

Факторами варьирования на втором этапе выбраны следующие режимные и конструктивные параметры, оказывающие наибольшее влияние на процесс воздушного сепарирования:

- удельная производительность канала $q_{уд}$ в интервале от 222 до 444 кг / (ч · см);
- зазор между передней стенкой пневматического канала окончательной очистки и пластиной для поступления зерна в канал h в интервале от 4 до 9,5 см (рисунок 3).

Удельная производительность канала $q_{уд}$, кг / (ч · см), рассчитывалась по формуле

$$q_{уд} = Q / B, \quad (1)$$

где Q — производительность, кг / ч;

B — ширина пневматического канала, см.

Для второго этапа экспериментальных исследований был спланирован факторный эксперимент. Перед началом каждого опыта производилась настройка режимных и конструктивных параметров экспериментального стенда в соответствии с матрицей планирования.

Регулировка удельной производительности сепаратора осуществлялась установкой положения заслонок в бункерах, настройка положения производилась при отключенном вентиляторе. При этом перед загрузкой в бункер масса зерна взвешивалась на весах, заслонки фиксировались в определенном положении, измерялось время опорожнения бункеров. Расчет удельной производительности сепаратора производят по формуле (1). Регулировка зазора производилась, пока удельная производительность не соответствовала заданной с отклонением не более 3 %.

Регулировка зазора h осуществлялась установкой в канал фасонной пластины, контроль ее положения проводился штангенциркулем.

На втором этапе в качестве зерновой смеси использовали пшеницу с натурой 730 г / л и влажностью от 14 до 15 %.

Объемная производительность вентилятора составляла 0,15 м³/с, так как данная производительность без наличия подсосов обеспечивает скорость воздуха в месте подачи зерновой массы в канал на уровне 5,5 м/с, что позволяет выделять большинство аэродинамически легких примесей без уноса зерна основной культуры.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования работы аспирационной системы МУЗ-16 в производственных условиях показали, что только 1 250,3 м³/ч воздуха поступает в нее через входы воздуха в пневматические каналы 9, 14 (см. рисунок 1, б), продувая зерновую смесь и очищая ее от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами, а остальные 6 585,9 м³/ч являются подсосами, снижая эффективность пневматической сепарации.

При анализе данных в разрезе предварительной и окончательной аспираций выявлено, что часть аспирационной системы МУЗ-16, обеспечивающая предварительную аспирацию, использует для очистки зерновой смеси $1\ 145\ \text{м}^3/\text{ч}$ воздуха, а подсосы составляют только $73,3\ \text{м}^3/\text{ч}$ или $6,01\ \%$ от засасываемого в данную часть аспирационной системы воздуха. При этом в части системы, отвечающей за окончательную аспирацию, подсосы составляют $6\ 512,6\ \text{м}^3/\text{ч}$ воздуха.

Второй этап эксперимента показал, что зазор между передней стенкой пневматического канала и пластиной для поступления зерна в канал h (см. рисунок 3) существенно влияет на направление воздушных потоков в пневматическом канале окончательной аспирации. Его значение в $4\ \text{см}$ обеспечивает возможность работы канала на максимальной удельной производительности $666\ \text{кг}/(\text{см} \cdot \text{ч})$ с минимальными подсосами воздуха в $7,7\ \%$ от количества воздуха, поступающего в канал, что обеспечивает оптимальную с точки зрения эффективности очистки скорость воздуха в канале ($5,5\ \text{м}/\text{с}$). Однако при понижении удельной производительности до $222\ \text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{см})$ при зазоре в $4\ \text{см}$ подсосы увеличиваются до $22,18\ \%$, а скорость воздуха падает до $4,56\ \text{м}/\text{с}$.

На основании проведенных исследований установлены места и основные причины подсосов воздуха в аспирационную систему МУЗ-16:

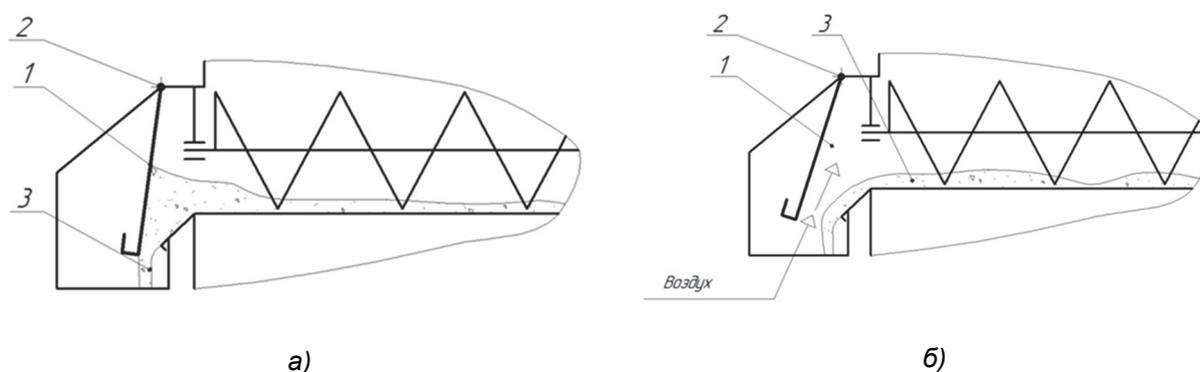
1) подсосы воздуха через выход примесей осадочных камер, которые связаны конструкцией заслонки, установленной у данных выходов (рисунок 4). Заслонка, закрывающая выход и предотвращающая подсос воздуха в осадочную камеру, должна находиться в вертикальном положении, незначительно отклоняясь от него под действием примесей, выталкиваемых шнеком из камеры. Однако при анализе работы МУЗ-16 в ООО «Божедары» отмечено заедание петли заслонки и ее тугой ход, что приводит к подсосу воздуха (см. рисунок 4, б);

2) подсосы воздуха через входы зерновой смеси в пневматический канал окончательной аспирации обусловлены увеличенным зазором между передней стенкой пневматического канала и пластиной для поступления зерна в канал $h = 95\ \text{мм}$;

3) неудачное расположение заборной решетки для поступления воздуха в пневматический канал окончательной аспирации, обладающей высоким сопротивлением.

Для устранения подсосов воздуха и, как следствие, повышения эффективности работы аспирационной системы зерноочистительной машины МУЗ-16 в ее конструкцию необходимо внести следующие изменения:

1) оснастить заслонки, установленные на выходе примесей из осадочных камер, грузом-противовесом, а также изменить конструкцию петли для предотвращения заедания (рисунок 5). После сборки и при дальнейшей эксплуатации необходимо следить, чтобы заслонка легко перемещалась от руки, заедание недопустимо;



1 — заслонка; 2 — петля; 3 — примеси

Рисунок 4. — Конструкции выхода примесей из осадочных камер: а — схема при нормальной работе заслонки; б — схема работы при заедании петли или тугом ходе заслонки

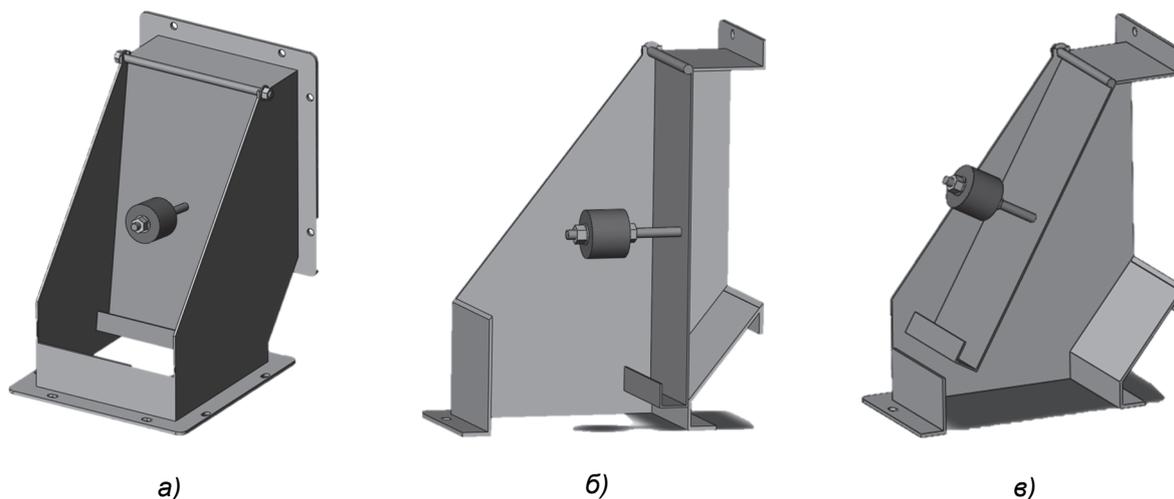
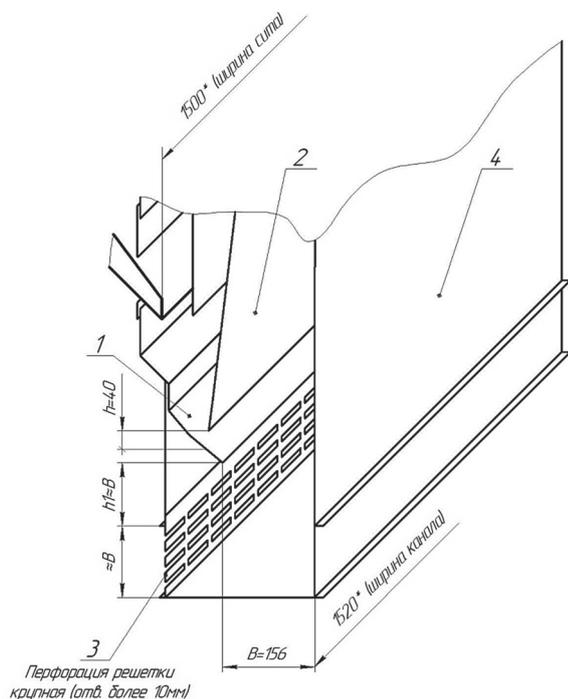


Рисунок 5. — Усовершенствованная конструкция заслонки, установленной на выходе примесей из осадочных камер: а — общий вид; б — положение «закрыто»; в — положение «открыто»

2) зазор между передней стенкой пневматического канала окончательной аспирации и пластиной для поступления зерна в канал h должен составлять 40, а не 95 мм, как в базовом варианте, что обеспечит работу при производительности в 100 т / ч. Величина подсоса через зазор h при минимальной производительности машины в 16 т / ч составит 25 % от воздуха, необходимого для работы пневматического канала окончательной аспирации, или 10 % от воздуха, поступающего в аспирационную систему, что необходимо учитывать при проектировании и подборе вентилятора;



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 6. — Схема размещения основных элементов усовершенствованного пневматического канала окончательной аспирации МУЗ-16

3) заборная решетка для поступления воздуха в пневматический канал окончательной аспирации должна размещаться ниже кромки пластины для поступления зерна в канал на расстоянии $h_1 \approx B$, где B — глубина пневматического канала. Высота решетки также должна соответствовать глубине канала, а задняя стенка 4 быть прямолинейной, без изгибов.

Рекомендуемые параметры пневматического канала окончательной аспирации зерноочистительной машины МУЗ-16 представлены на рисунке 6.

На основе представленных рекомендаций конструкторским отделом ЗАО «Борисовский завод «Металлист»» разработана конструкторская документация для изготовления опытного образца зерноочистительной машины МУЗ-16 с усовершенствованной аспирационной системой.

Заключение. На основании результатов экспериментальных исследований работы аспирационной системы зерноочистительной машины МУЗ-16, проведенных в производственных условиях и на лабораторном макете пневматического канала окончательной аспирации, были выявлены основные причины снижения эффективности ее работы и разработаны рекомендации для их устранения. Конструкторским отделом ЗАО «Бори-

совский завод «Металлист»» разработана конструкторская документация для изготовления опытного образца зерноочистительной машины МУЗ-16 с усовершенствованной аспирационной системой, испытания которого позволят оценить эффективность предложенных решений и целесообразность их использования в серийном производстве.

Работа выполнена в рамках договора на выполнение НИОКР с ЗАО «Борисовский завод «Металлист»» от 15.09.2023 № ВНК-0923.

Список цитированных 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. 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 // Вестн. БГСХА. — 2014. — № 1. — С. 163—167.
3. Two-aspiration air-sieve grain cleaning machines of new generation / V. I. Orobinsky [et al.] // IOP Conf. Ser. Earth and Environmental Science. — 2022. — Т. 954, no. 1. — С. 12—26.
4. Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening forage grain / P. Savinyh [et al.] // Proceedings of 17th Intern. Scientific Conf. Engineering for Rural Development Engineering for Rural Development. — 2018. — С. 124—130.
5. Badretdinov, I. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretdinov [et al.] // J. of Appl. Engineering Science. — 2019. — Т. 17, no. 4. — С. 529—534.
6. Иванов, А. В. Повышение эффективности очистки семян злаковых культур от трудноотделимых примесей на основе создания новых конструкций машин / А. В. Иванов, А. И. Ермаков, В. М. Поздняков // Агропанорама. — 2011. — № 3. — С. 20—23.
7. 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.
8. Харченко, С. А. Способ повышения эффективности процесса очистки воздушного потока и разработка циклона аспирационных систем зерноочистительных машин / С. А. Харченко, Е. А. Гаек // Механізація с.-г. виробництва. — 2013. — Т. 1, № 135. — С. 87—92.
9. Гаек, Е. А. Сравнительный анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований в разработанном циклоне аспирационных систем зерноочистительных машин / Е. А. Гаек // Техніч. системи і технології тваринництва. — 2015. — Т. 1, № 157. — С. 203—208.
10. Шафоростов, В. Д. Оптимизация конструктивных параметров подающего устройства воздушно-решётной зерноочистительной машины МВУ-1500 / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Маслич. культуры. — 2012. — № 1 (150). — С. 106—109.

Поступила в редакцию 28.03.2024.