

УДК 631.361:633.1

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА МАШИНЫ МВС-1,0 В ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Саитов А. В., аспирант¹

E-mail: alexeysaitov@yandex.ru

Гатауллин Р. Г., кандидат технических наук²

E-mail: rinat.gataullin.1970@mail.ru

Саитов В. Е., доктор технических наук, профессор¹

E-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия

²Акционерное общество «Малмыжский ремзавод», г. Малмыж, Россия

Аннотация

Осуществлены в реальных производственных условиях испытания разработанной и изготовленной машины МВС-1,0, предназначенной для сепарации вредных примесей из зерновых культур методом обработки водными растворами неорганических солей. Установлено, что машина соответствует требованиям работоспособности, обеспечивает полное удаление вредных примесей из зерна за один цикл обработки, при этом потери зерна не превышают допустимые значения, установленные для машин окончательной очистки. МВС-1,0 может быть интегрирована в существующую технологическую цепочку послеуборочной обработки зерна.

Ключевые слова: посевные материалы зерновых, потери зерна при обработке, засоренность, вредная примесь, зерноочистительная машина, водный раствор соли

QUALITY INDICATORS RESEARCH OF THE WORKING PROCESS OF THE MVS-1.0 MACHINE EXPERIMENTAL MODEL IN ECONOMIC CONDITIONS

Saitov A. V., post-graduate student¹

E-mail: alexeysaitov@yandex.ru

Gataullin R. G., candidate of technical sciences²

E-mail: rinat.gataullin.1970@mail.ru

Saitov V. E., doctor of technical sciences, professor¹

E-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Vyatka State Agrotechnological University », Kirov, Russia

²Joint-stock company «Malmyzh repair plant», Malmyzh, Russia

Annotation

The MVS-1.0 machine, designed for separating harmful impurities from grain crops using aqueous solutions of inorganic salts, has been tested under real-world production conditions. It has been found out that the machine meets performance requirements, ensuring the complete removal of harmful impurities from grain in a single processing cycle, while grain losses do not exceed the permissible limits established for final cleaning machines. The MVS-1.0 model can be integrated into existing post-harvest grain processing systems.

Keywords: grain seeds, grain losses during processing, contamination, harmful impurities, grain cleaning machine, aqueous salt solution

Введение. Зерно различных сельскохозяйственных культур применяется в первую очередь для пищевых целей населению страны, служит для приготовления комбикормов сельскохозяйственным животным, а также закладывается на семенные цели.

Среди всех зерновых культур, составляющих основу урожая, особенно важны пшеница, рожь, овес и ячмень. К сожалению, посевы этих культур часто страдают от грибковых болезней, таких как головня и спорынья. Эти грибки, попадая в зерно, ухудшают его качество. Спорынья чаще всего поражает рожь. Рожь традиционно выращивают в Нечерноземной зоне, так как она хорошо приспосабливается к различным условиям и дает стабильные урожаи даже на не очень плодородных почвах. Рожь особенно подвержена спорынье из-за длительного периода цветения и особенностей строения цветков, которые открыты для перекрестного опыления в течение долгого времени. Во влажные годы спорынья может поражать и другие зерновые культуры: пшеницу, ячмень и овес. Если спорынья заражает колосья этих культур, то вместо зерен образуются ядовитые склеротии.

Существующие зерноочистительные машины не способны эффективно отделить вредные примеси от зерен хлебных культур за один цикл обработки. Сложность заключается в том, что вредные примеси часто схожи по размеру, форме, способности к парению в воздухе, а также по цвету и коэффициенту трения с зерном, что обусловлено мутациями. Для качественной очистки требуется многократное прохождение зерна через очистительное оборудование, что приводит к увеличению расходов на очистку. К сожалению, даже модернизация конструкции машин не обеспечивает необходимого повышения эффективности очистки, оставляя проблему качества нерешенной.

Поэтому ключевым фактором, влияющим на продуктивность зернового производства, является техническое совершенство зерноочистительной техники и оборудования. Многие ученые [2, 4-7, 11-15, 25, 30] занимаются разработкой новых зерноочистительных машин и поточных линий для послеуборочной обработки зерна, применяя принципы механики [29].

Несмотря на значительные достижения в работах выдающихся ученых и инженеров, до сих пор остается открытым вопрос об эффективном удалении нежелательных примесей из зерна, поступающего на послеуборочную обработку. В частности, не разработаны методы, использующие водные растворы неорганических солей для одновременной очистки семенного зерна от этих загрязнений в рамках одного технологического цикла.

На основе анализа трудов известных ученых была предложена научная гипотеза, согласно которой можно получить продовольственное зерно, соответствующее стандартам, и элитные семена с высокой биологической жизнеспособностью, очищенные от вредных примесей в рамках одного технологического процесса. Это станет возможным благодаря разработке машины для разделения компонентов зернового материала по плотности с использованием водных растворов неорганических солей, которая будет отличаться простотой конструкции и низкой удельной энергоемкостью процесса.

На основании выдвинутой научной гипотезы разработана машина выделения вредных примесей из семян зерновых культур [22], изготовлен опытный образец машины МВС-1,0 [31] с учетом оптимальных конструктивно-технологических параметров, полученных в результате проведенных экспериментальных исследований на лабораторной установке [26-28].

В рамках дальнейших испытаний разработанной и изготовленной машины МВС-1,0, предназначенной для сепарации вредных примесей из семян зерновых культур с использованием водных растворов неорганических солей, планируется проведение исследований качественных показателей ее рабочего процесса в условиях реальной эксплуатации.

Цель исследования – экспериментально проверить и изучить качественные параметры рабочего цикла опытного образца машины МВС-1,0 в реальных производственных условиях.

Материал и методы. С целью агротехнической оценки в условиях реального производства, опытный образец машины МВС-1,0 был интегрирован в зерноочистительно-сушильную линию микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.», занимающегося выращиванием зерновых и зернобобовых культур и расположенного в деревне Пахотная Малмыжского района Кировской области (Российская Федерация).

Общий вид поточной технологической зерноочистительно-сушильной линии микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.» и опытного образца машины МВС-1,0, установленного в данную технологическую линию, представлены на рисунке 1.



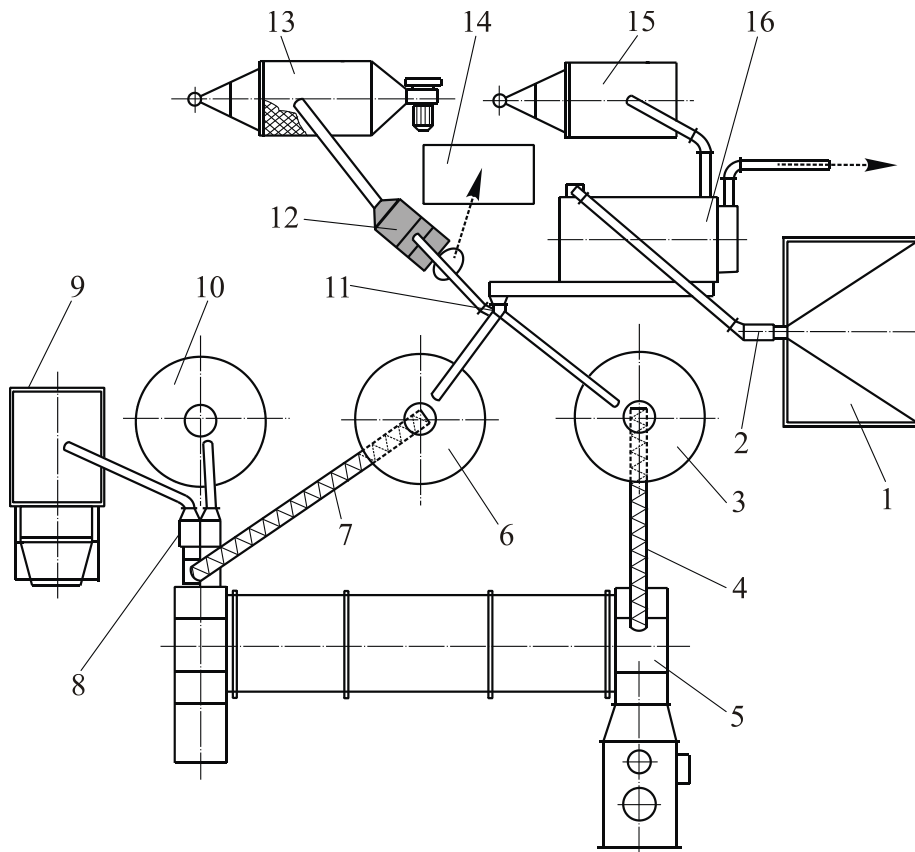
а



б

Рисунок 1. Общий вид поточной технологической зерноочистительно-сушильной линии микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.» (а) и опытного образца машины МВС-1,0 (б), установленного в данную технологическую линию очистки зернового материала

Схема поточной технологической зерноочистительно-сушильной линии микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.» в составе с опытным образцом машины МВС-1,0 приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2. Схема поточной зерноочистительно-сушильной линии
микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.»
в составе с опытным образцом машины МВС-1,0:**

1 – приемный бункер для зерна (завальная яма); 2 – зерновой элеватор производительностью 10 т/ч (однопоточная нория НПЗ-10); 3 – накопитель для зерна, прошедшего предварительную очистку (бункер для хранения предварительно очищенного зерна); 4 и 7 – шнековый транспортер для выгрузки зерна (шнековые разгрузчики); 5 – зерносушилка барабанного типа с теплогенератором (барабанная зерносушилка СЗСБ-8А с топочным агрегатом ТАУ-0,75); 6 – хранилище для зерна после первичной обработки (бункер для хранения зерна после первичной очистки); 8 – зерновой элеватор производительностью 10 т/ч (двухпоточная нория 2НПЗ-10); 9 – автотранспорт (транспортное средство); 10 – бункер для хранения высушенного зерна (бункер высушенного зерна); 11 – устройство для направления зернового потока (переключатель потока зерна); 12 – экспериментальная зерноочистительная машина МВС-1,0 (опытный образец машины МВС-1,0); 13 – передвижная зерносушилка на базе тракторного прицепа (сушилка очищенного зерна на базе прицепа 2ПТС-4); 14 – прицеп для транспортировки отходов зерна (тракторная тележка для отходов); 15 – прицеп для перевозки фуражного зерна (тракторная тележка для фуражного зерна); 16 – зерноочистительная машина для предварительной очистки (машина ОВС-25 предварительной очистки зерна)

Технологический процесс работы зерноочистительно-сушильной линии микропредприятия «ИП Хабибрахманов Р. Р.» в составе с опытным образцом машины МВС-1,0 заключается в следующем. Зерновой материал, доставляемый транспортным средством с поля от зерноуборочного комбайна, сгружается в завальную яму 1. При запуске линии из завальной ямы зерновой материал однопоточной норией НПЗ-10 подается в машину ОВС-25 для предварительной очистки. Очищенное зерно из машины ОВС-25 поступает по скатному желобу в бункер 3 для предварительного хранения, а фуражное зерно также по другому скатному желобу направляется в тракторную тележку 15. Отходы (органические и минеральные примеси) от машины ОВС-25 выводятся за пределы технологической линии и

отвозятся в отвал. Предварительно очищенное зерно от примесей из бункера 3 направляется шнековым разгрузчиком 4 в барабанную зерносушилку 5 (СЗСБ-8А) для сушки, а затем двухпоточной норией 2НПЗ-10 отправляется для охлаждения в накопительный бункер 10, откуда в дальнейшем отгружается этой же двухпоточной норией 8 в транспортное средство 9, которым отвозится на склад для напольного хранения, а для последующей первичной очистки машиной ОВС-2 сгружается снова в завальную яму 1.

Зерно после первичной очистки из машины ОВС-25 направляется по скатному желобу в бункер 6 либо при помощи переключателя 11 периодически по скатному желобу направляется в загрузочный бункер опытного образца машины 12 (МВС-1,0).

При обработке зернового материала машиной МВС-1,0 по плотности в водном растворе соли зерно через скатный желоб отгружается в малогабаритную сушилку 13 на базе прицепа 2ПТС-4, а отходы направляются в тракторную тележку 14. По окончании сушки зерно направляется для хранения либо поверхностно увлажненное, очищенное зерно машиной МВС-1,0 без сушки может непосредственно использоваться в качестве семян для посева, что ускорит их всхожесть. Очищенное зерно из бункера 6 шнековым разгрузчиком 7 через двухпоточную норию 8 отгружается в автомобиль-загрузчик семян 9 для последующего посева.

При исследовании показателей рабочего процесса опытного образца машины МВС-1,0 использовали рабочий водный раствор плотностью $\rho_{жс} = 1150 \text{ кг/м}^3$ из неорганической соли хлористого натрия (NaCl). Осуществлялась очистка семян озимой ржи сорта Фаленская 4 и яровой пшеницы сорта Ирень от разных примесей. Свойства и параметры исходного семенного материала приведены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства и параметры исходного семенного материала

Наименование показателя	Значение показателя	
	озимая рожь сорта Фаленская 4	яровая пшеница сорта Ирень
Влажность зерна, %	15,0	15,0
Всхожесть, %	87	92
Чистота (содержание семян основной культуры), %	99,69	99,67
Содержание склероциев спорыньи, %	0,3	0,3
Головневые образования, %	-	-
Другие сорные примеси, %	0,01	0,03
Масса 1000 зерен, г	25,6	34,3

Эффективность технологического процесса очистки семенного материала от вредных примесей соевым раствором, реализованного в опытном образце машины МВС-1,0, оценивалась количеством P_C извлеченных склероциев спорыньи из очищаемого семенного материала и уровнем потерь P_z зерна в отходы, которые выводились из машины вместе со склероциями спорыньи.

Количество P_C извлеченных склероциев спорыньи из очищаемого семенного материала машиной МВС-1,0 определялось с помощью процентной формулы (%)

$$P_C = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 – количество склероциев спорыньи, извлеченных машиной МВС-1,0 из очищаемого семенного материала, кг; m_2 – количество склероциев спорыньи, не извлеченных машиной МВС-1,0 из очищаемого зернового материала, кг.

Уровень потерь Π_3 зерна в отходы, которые выводились из машины МВС-1,0 вместе со склероциями спорыньи, оценивались по выражению (%)

$$\Pi_3 = \frac{m_3}{m_3 + m_4} \cdot 100, \quad (2)$$

m_3 – количество зерна, которые выводились из машины МВС-1,0 вместе со склероциями спорыньи, кг; m_4 – количество очищенного машиной МВС-1,0 зерна от сорных примесей и склероциев спорыньи, кг.

Результаты и обсуждение. Результаты работы опытного образца машины МВС-1,0 по очистке семян озимой ржи сорта Фаленская 4 и яровой пшеницы сорта Ирень, представленные на рисунке 3, показывают корреляцию между удельной зерновой нагрузкой $q_{y\partial}$ и количеством P_C извлеченных склероциев спорыньи из очищаемого семенного материала, а также уровнем потерь Π_3 зерна в отходы, которые выводились из машины вместе со склероциями спорыньи.

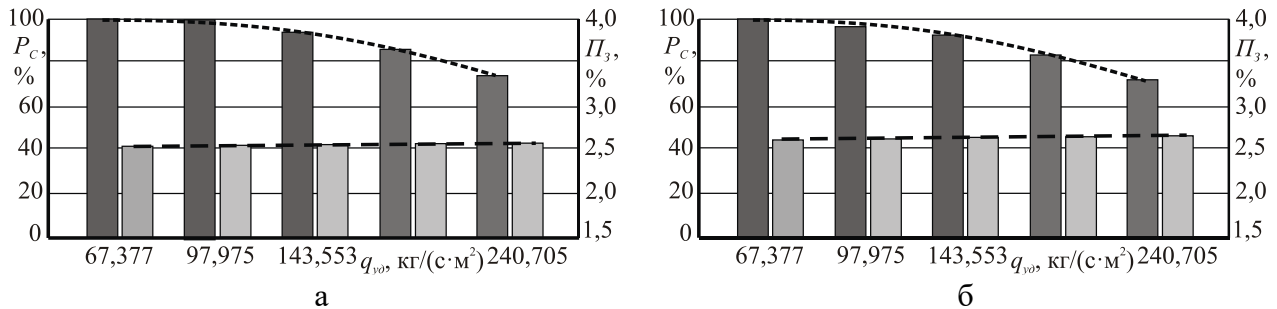


Рисунок 3. Корреляция между удельной зерновой нагрузкой $q_{y\partial}$ и показателями эффективности очистки семян озимой ржи сорта Фаленская 4 (а) и яровой пшеницы сорта Ирень (б) опытным образцом машины МВС-1,0: количеством извлеченных склероциев спорыньи P_C из очищаемого семенного материала и уровнем потерь зерна Π_3 в отходы

■ количество P_C извлеченных склероциев спорыньи из очищаемого семенного материала;
■ уровень потерь Π_3 зерна в отходы, которые выводились из машины вместе со склероциями спорыньи

Варьирование удельной зерновой нагрузки $q_{y\partial}$ в пределах 67,377; 97,975; 143,553; 177,990 и 240,705 кг/(с м²) на площадь поперечного сечения выпускного отверстия загрузочного бункера осуществлялось последующим открытием его регулировочной заслонкой, что соответствовало зазору (10,0; 15,0; 20,0; 25,0 и 30,0)·10⁻³ м соответственно. Высота подачи зернового материала относительно поверхности водного раствора соли составляла 0,060 м.

Корреляция между удельной зерновой нагрузкой $q_{y\partial}$ и показателями эффективности очистки семян озимой ржи сорта Фаленская 4 (количеством извлеченных склероциев спорыньи P_C из очищаемого семенного материала и уровнем потерь зерна Π_3 в отходы) опытным образцом машины МВС-1,0 описываются следующими уравнениями регрессии (%):

$$P_C = 98,0 + 4,214q_{y\partial} - 1,786q_{y\partial}^2, \quad R^2 = 0,994; \quad (3)$$

$$\Pi_3 = 2,514 + 0,008q_{y\partial}, \quad r = 0,941, \quad (4)$$

а яровой пшеницы сорта Ирень характеризуется следующими регрессионными моделями (%):

$$P_C = 99,0 + 2,429q_{y\partial} - 1,571q_{y\partial}^2, \quad R^2 = 0,997; \quad (5)$$

$$П_3 = 2,599 + 0,011q_{y\partial}, \quad r = 0,945. \quad (6)$$

Из уравнения (3) следует, что на выделение ядовитых склероциев спорыньи удельная зерновая нагрузка $q_{y\partial}$ оказывает существенное влияние. Коэффициент детерминации R^2 (Adj Rsqr) показывает, что 99,4 % изменения функции $P_C = f(q_{y\partial})$ объясняется вариацией удельной зерновой нагрузки $q_{y\partial}$, являющейся переменной величиной. Изменения функции $P_C = f(q_{y\partial})$ в объеме 0,6 % показывают факторы, которые не были учтены в этой модели.

Из выражения (4) следует, что на потери $П_3$ зерна в отходы удельная зерновая нагрузка $q_{y\partial}$ практически не влияет. Линия тренда этого выражения имеет линейную зависимость. Коэффициент r корреляции исследуемой зависимости практически близок к значению 1,0, что свидетельствует о высокой степени соответствия трендовой модели экспериментальным данным.

Из уравнения (5), как и в выражении (3), следует, что на выделение ядовитых склероциев спорыньи удельная зерновая нагрузка $q_{y\partial}$ оказывает существенное влияние. Коэффициент детерминации R^2 (Adj Rsqr) данного выражения составляет 99,7 %, который объясняется вариацией ее переменной величины $q_{y\partial}$, а 0,3 % изменения рассматриваемой функции $P_C = f(q_{y\partial})$ объясняются факторами, не учтенными в принятой модели регрессии.

Из полученной модели регрессии (6), как и в модели регрессии (4), следует, что на потери $П_3$ зерна в отходы удельная зерновая нагрузка $q_{y\partial}$ практически не влияет. Линия тренда этого выражения также имеет линейную зависимость. Коэффициент r корреляции исследуемой зависимости, равный 0,945, практически близок к значению 1,0, что свидетельствует о высокой степени соответствия трендовой модели экспериментальным данным.

В результате регрессионного анализа математических моделей (3), (4), (5) и (6), описывающих связь между зависимыми переменными P_C и $П_3$ и независимой переменной $q_{y\partial}$, следует, что полученные модели информационно значимо описывают качественные показатели рабочего процесса опытного образца машины МВС-1,0 выделения вредных примесей из семян зерновых культур в растворе соли.

Анализ графиков, представленных на рисунке 3, позволяет заключить, что полная (100 %) элиминация ядовитых склероциев спорыньи достигается при удельной зерновой нагрузке 67,377 кг/(с·м²). При дальнейшем увеличении удельной зерновой нагрузки часть склероциев спорыньи увлекаются потоком зерна на дно ванны; для ржи и пшеницы соответственно при $q_{y\partial} = 97,975$ кг/(с·м²) количество P_C составляет 98 и 97 %, при $q_{y\partial} = 143,553$ кг/(с·м²) количество P_C равна 95 и 93 %, при $q_{y\partial} = 177,990$ кг/(с·м²) значение $P_C = 85$ и 83 %, а при $q_{y\partial} = 240,705$ кг/(с·м²) количество P_C снижается до 75 и 72 %. Это обусловлено при высоких удельных зерновых нагрузках $q_{y\partial}$ захватом склероциев спорыньи ядром потока зерна, погружающегося на дно ванны машины МВС-1,0. Это приводит к тому, что ядро потока зерна распадается только на более глубоких уровнях солевого раствора. Вследствие этого, оказавшись на дне ванны машины, некоторое количество склероциев спорыньи впоследствии выносятся транспортером в составе очищенных семян.

Для исключения захвата склероциев спорыньи зерном, погружающимся в растворе соли, в конструкции опытного образца необходимо предусмотреть разрушающее устройство ядра потока зерна, устанавливаемое в ванне непосредственно на определенной глубине.

Практически полное отсутствие зависимости уровня потерь $П_3$ зерна при окончательной очистке семенного материала (в пределах 2,52-2,65 %) от удельной зерновой нагрузки $q_{y\partial}$ свидетельствует о высокой эффективности процесса. Эти потери существенно ниже допустимых агротехнических требований, которые составляют

не более 5,0 %.

Семена зерновых культур, очищенные опытным образцом машины МВС-1,0 от вредных примесей, пребывают в растворе соли непродолжительное время (не более 30 секунд), а потому смачиваются только поверхностно и чрезмерного повышения их влажности проникновением жидкости внутрь семени не происходит. После обработки машиной МВС-1,0 для устранения поверхностного увлажнения и увеличения сыпучести семян достаточно их продуть напором наружного атмосферного воздуха или навал увлажненных семян периодически перелопачивать либо расстелить небольшим слоем на площадке для просушивания до нормальной влажности, удовлетворяющей условиям посева сеялками.

Для оценки эффективности в выделении из зерна трудноотделимых примесей, в том числе склеротий спорыньи, в таблице 2 проведено сравнение технических характеристик машины МВС-1,0 с влагосъемным устройством [19] и пневмосортировальных столов ПСС-1, СП-0,5 и ССП-1,5 [3, 16, 32].

Для привода вентилятора влагосъемного устройства предусмотрен электродвигатель асинхронный трехфазный АИР 80А4 мощностью 1,1 кВт и частотой вращения вала ротора 1500 мин⁻¹ [1]. Тогда суммарная мощность опытного образца машины МВС-1,0 с влагосъемным устройством составит 1,85 кВт.

Согласно таблице 2 машина МВС-1,0 демонстрирует значительно более низкие показатели удельной металлоемкости (в 1,88-8,83 раза) и удельных энергозатрат (в 1,89-6,27 раза) по сравнению с пневмосортировальными столами ПСС-1, СП-0,5 и ССП-1,5.

Если сравнивать машину МВС-1,0 с влагосъемным устройством и пневмосортировальный стол ПСС-1, то по размеру и тому, какое количество семян они могут обработать, они почти одинаковы. Но МВС-1,0 гораздо экономичнее: она тратит в 2,03 раза меньше энергии и для ее производства нужно в 2,5 раза меньше металла.

Таблица 2. Ключевые технические характеристики машины МВС-1,0, включающей влагосъемное устройство, и пневмосортировальных столов, ориентированных на эффективное отделение трудноудаляемых примесей из зерна

Наименование показателей и единица измерения	Наименование машины			
	МВС-1,0 с влагосъемным устройством	ПСС-1	СП-0,5	ССП-1,5
Производительность, т/ч	1,0	1,0	0,6-1,0	1,5-2,0
Суммарная установленная мощность, кВт	1,85	3,75	5,5-7,0	7,0
Габаритные размеры, мм:				
- длина	2000	1500	2100	2635
- ширина	700	1100	1600	1350
- высота	1500	1750	1500	1290
Масса, кг	200	500	1060	750
Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	1,85	3,75	5,5-11,6	3,5-4,7
Удельная металлоемкость, кг/(т/ч)	200	500	1060-1766	375-500

Преимущества машины МВС-1,0 с влагосъемным устройством, такие как снижение удельной металлоемкости и удельных энергозатрат по сравнению с пневмосортировальным столом ПСС-1, обусловлены ее простой конструкцией. Эта простота конструкции позволяет при изготовлении машины МВС-1,0 обойтись без сложного производственного оборудования и специальных приспособлений. Также машина МВС-1,0 отличается простотой настроек технологического процесса на оптимальный рабочий режим.

При оценке уровня шума, создаваемого вращающимися частями во время работы опытного образца машины МВС-1,0 при выделении вредных примесей из семян зерновых культур в растворе соли, установлено, что его предельное значение не превышало 70 ДБА,

что не превосходит величину 80 ДБА, предусмотренную санитарными нормами для работы технического персонала [8, 10, 17].

При замере концентрации пыли в зоне работы машины МВС-1,0 выделения вредных примесей из семян зерновых культур в растворе соли установлено, что ее значение составило 4,8 мг/м³ и не превышает значения 6,0 мг/м³ согласно требованию системы стандартов безопасности труда (ССБТ) [9].

Анализ безопасности и эргономических характеристик опытного образца машины МВС-1,0 свидетельствует о том, что конструкция в целом соответствует требованиям удобства и безопасности для пользователей при эксплуатации и проведении технического обслуживания. В качестве рекомендации предлагается оснастить машину системой транспортера для вывода отходов.

Выводы. Таким образом, в ходе испытаний опытного образца машины МВС-1,0 в реальных производственных условиях установлено, что она соответствует требованиям работоспособности, обеспечивает 100 % выделение вредных примесей из семян зерновых культур в водном растворе соли за один технологический процесс при потерях P_z зерна в отходы, которые не превышают агротехнические требования к машинам окончательной очистки зерна. Функционал разработанной машины полностью соответствует задачам, решаемым в поточной технологии послеуборочной обработки зерна и семян. Дальнейшее совершенствование конструкции разработанной машины возможно использованием технических решений, представленных в следующих работах [18, 20, 21, 23, 24].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. АИР 80А4 электродвигатель 1,1 кВт 1500 об/мин. URL: <https://agregat.me/trekhfaznye-elektrodvigateli-380v/487-air80a4-elektro-dlvigatel-1-1-kvt-1500-ob-trehfaznyj-ua/> (дата обращения: 29.07.2021).
2. Бурков А. И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин. Киров : ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», 2016. 380 с.
3. Вибропневмосепараторы и их использование в линиях очистки семян : учебное пособие / В. Д. Галкин, А. Ф. Кошурников, А. А. Хавыев [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2014. 102 с.
4. Волхонов М. С. Обоснование и совершенствование процессов и аэроложобных устройств для послеуборочной обработки зерна : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Волхонов Михаил Станиславович. Кострома : [б. и.], 2007. 480 с.
5. Галкин В. Д., Галкин А. Д., Елисеев С. Л. Технологии, машины и агрегаты послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2021. 234 с.
6. Гладков Н. Г. Зерноочистительные машины. Конструкции, расчет, проектирование и эксплуатация. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Машгиз, 1961. 368 с.
7. Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. Москва : Колос, 1980. 304 с.
8. ГОСТ 12.1.003-83 (СТ СЭВ 1930-79). Шум. Общие требования безопасности : введ. 01.07.84 // Система стандартов безопасности труда : сборник ГОСТов. Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2002. С. 44-53.
9. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : введ. 01.01.89. Москва : Стандартинформ, 2006. 94 с.
10. ГОСТ 33735-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины зерноочистительные. Методы испытаний : введ. 01.01.2018. Москва : Стандартинформ, 2017. 58 с.
11. Дринча В. М., Борисенко И. Б. Применение и функциональные возможности пневмосортировальных столов // Научно-агрономический журнал. 2008. № 2 (83). С. 33-36.
12. Ермольев Ю. И. Перспективные технологии и технические средства для очистки зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. № 6. С. 28-29.

13. Зюлин А. Н., Чижиков А. Г. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. № 6. С. 10-14.
14. Машины для послеуборочной обработки зерна / Б. С. Окнин, И. В. Горбачев, А. А. Терехин, В. М. Соловьев. Москва : Агропромиздат, 1987. 238 с.
15. Машины для послеуборочной обработки семян: Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов / под общ. ред. З. Л. Тица. Москва : Машиностроение, 1967. 447 с.
16. Машины окончательной очистки – пневматические сортировальные столы МОС-9Н и ПСС-1. URL: <http://www.agroyug.ru/htmledit/download/76.pdf> (дата обращения: 26.08.2021).
17. ОСТ 10 10.02-2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. Методы оценки функциональных показателей : введ. 03.03.2003. Москва : Минсельхоз России, 2003. 47 с.
18. Патент № 2667066 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 2017115170/03 : заявл. 27.04.2017 : опубл. 18.09.2018 / Сысуев В. А., Сайтов В. Е., Гатауллин Р. Г., Сайтов А. В., Уткина Е. И., Шешегова Т. К. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого».
19. Патент № 2701660 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 20181143946 : заявл. 11.12.2018 : опубл. 30.09.2019 / Сысуев В. А., Сайтов В. Е., Фарафонов В. Г., Гатауллин Р. Г., Сайтов А. В., Уткина Е. И., Шешегова Т. К. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».
20. Патент № 2616037 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 2015148311 : заявл. 10.11.2015 : опубл. 12.04.2017 / Сысуев В. А., Сайтов В. Е., Савиных П. А., Сайтов А. В. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».
21. Патент № 2631556 Российская Федерация, МПК В65D 88/26. Бункер для сыпучих материалов: № 2016140581 : заявл. 14.10.2016 : опубл. 25.09.2017 / Сайтов В. Е., Фарафонов В. Г., Суворов А. Н., Сайтов А. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия».
22. Патент № 2689470 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 2018136461/03 : заявл. 15.10.2018 : опубл. 28.05.2019 / Сайтов А. В., Гатауллин Р. Г., Сайтов В. Е. ; заявитель и патентообладатель Сайтов Алексей Викторович.
23. Патент № 2701905 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 2017117998 : заявл. 23.05.2017 : опубл. 02.10.2019 / Сайтов А. В., Гатауллин Р. Г., Сайтов В. Е., Фарафонов В. Г. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия».
24. Патент № 2710715 Российская Федерация, МПК В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи : № 2019114802 : заявл. 14.05.2019 : опубл. 10.01.2020 / Сысуев В. А., Сайтов А. В., Фарафонов В. Г., Гатауллин Р. Г., Сайтов В. Е., Уткина Е. И., Шешегова Т. К. ; заявитель Федеральное государственное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр имени Н. В. Рудницкого».
25. Рыжов С. В. Новая сельскохозяйственная техника Кировских предприятий // Техника и оборудование для села. 2006. № 6. С. 18-21.
26. Сайтов А. В., Гатауллин Р. Г., Сайтов В. Е. Анализ величины расхода рабочего водного

- раствора соли при очистке семян зерновых культур от вредных примесей // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 3 (25). С. 93-98. URL : https://v-vgsha.info/wp-content/uploads/journal/2025/3/vypusk_3-2025_2.pdf (дата обращения: 25.11.2025).
27. Саитов А. В., Гатауллин Р. Г., Саитов В. Е. Вынос водного раствора соли из ванны машины выделения спорыньи // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 3 (25). С. 99-104. URL : https://v-vgsha.info/wp-content/uploads/journal/2025/3/vypusk_3-2025_2.pdf (дата обращения: 25.11.2025).
28. Саитов А. В., Гатауллин Р. Г., Саитов В. Е. Исследование равномерности распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 3 (25). С. 105-111. URL : https://v-vgsha.info/wp-content/uploads/journal/2025/3/vypusk_3-2025_2.pdf (дата обращения: 25.11.2025).
29. Сысуев В. А., Алешкин А. В., Кормщиков А. Д. Методы механики в сельскохозяйственной технике. Киров : Киров. обл. тип., 1997. 218 с.
30. Сычугов Ю. В. Модернизация объектов послеуборочной обработки зерна. Киров : Вятская ГСХА, 2015. 188 с.
31. Установка для отделения спорыньи из зерна ржи / В. А. Сысуев, В. Е. Саитов, Р. Г. Гатауллин, А. В. Саитов. DOI: <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2020-9-16-18> // Сельский механизатор. 2020. № 9. С. 16-18.
32. Федоренко В. Ф., Ревякин Е. Л. Зерноочистка – состояние и перспективы. Москва : Росинформагротех, 2006. 204 с.