

УДК 631.361:633.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ПО ШИРИНЕ ВАННЫ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА МАШИНЫ МВС-1,0

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

В урожай основных зерновых культур (пшеницы, ржи, ячменя и овса), кроме полноценного зерна, могут содержаться ядовитые склеротии спорыньи. Применение традиционных способов очистки зерна не дает положительных результатов выделения этих примесей за один технологический процесс. Склеротии спорыньи имеют меньшую плотность, чем у зерна культурных растений. Для выделения склеротий спорыньи из семян ржи по плотности можно использовать водные растворы солей. Для этого разработана машина МВС-1,0, отличающаяся простотой конструкции и малой удельной энергоемкостью технологического процесса. Особое внимание в работе уделено вопросу равномерного распределения зернового материала по ширине рабочей ванны, поскольку именно от этого параметра в значительной степени зависит эффективность разделения зерна и примесей в плотностной среде. Исследования истечения зерна озимой ржи сорта Фаленская 4 из загрузочного бункера свидетельствуют, что коэффициенты ν неравномерности распределения зернового материала по ширине ванны незначительны и при зерновой нагрузке $q_{\text{уд}} = 67,362 \dots 444,952 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ составляют $0,01 \dots 0,06$. Полученные данные подтверждают, что увеличение зазора выпускного отверстия загрузочного бункера способствует выравниванию потока зерна, что особенно важно при высоких производительностях машины. Конструктивное исполнение выпускного отверстия загрузочного бункера обеспечивает удовлетворительное распределение зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0, необходимое для качественного выделения склеротий спорыньи из семян ржи.

Ключевые слова: зерновой материал, сорные примеси, машина очистки зерна, водный раствор соли

STUDYING THE UNIFORMITY OF GRAIN MATERIAL DISTRIBUTION ACROSS THE BATH WIDTH OF THE MACHINE MVS-1.0 EXPERIMENTAL MODEL

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

«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation

The harvest of the main grain crops (wheat, rye, barley and oats) in addition to the wholesome grain may contain poisonous sclerotia of ergot. The use of traditional grain cleaning methods does not lead to positive results in isolating these impurities in one technological process. Sclerotia of ergot has a lower density than that of grain of cultivated plants. To isolate sclerotia of ergot from rye seeds by density, aqueous salt solutions can be used. For this purpose, the machine MVS-1.0 has been developed, distinguished by its simple design and low specific energy intensity of the technological process. Particular attention in this study is given to the uniformity of grain material distribution across the width of the working bath, as this parameter significantly affects the efficiency of separation between grain and impurities in the density-based medium. Studies of the flow of winter rye grain of the Falenskaya 4 variety from the loading hopper indicate that the coefficients v of the uneven distribution of grain material across the bath width are insignificant and at a grain load of $q_{y0} = 67.362 \dots 444.952 \text{ kg/(s} \cdot \text{m}^2)$ are $0.01 \dots 0.06$. The obtained data confirm that increasing the gap of the discharge opening of the loading hopper promotes more uniform grain flow, which is especially important at high machine throughputs. The design of the outlet opening of the loading hopper ensures the satisfactory distribution of grain material across the bath width of the machine MVS-1.0 experimental model, which is necessary for the high-quality separation of ergot sclerotia from rye seeds.

Keywords: grain material, foreign matter, grain cleaning machine, aqueous salt solution

Введение. Основным сырьем для производства наиболее важных продуктов питания людей и кормов животным является зерно сельскохозяйственных культур. Однако в зерновом ворохе, поступающем на пункты послеуборочной обработки зерна, содержатся различные примеси, в том числе ядовитые склеротии спорыньи [4-6], которые могут быть удалены мокрым способом за один технологический процесс [3].

Для механизации выделения склеротий спорыньи из семян ржи мокрым способом, что является актуальным вопросом, разработано устройство очистки зернового материала, состоящее из загрузочного бункера с питателем, ванны, выгрузных устройств семян ржи и отходов [2].

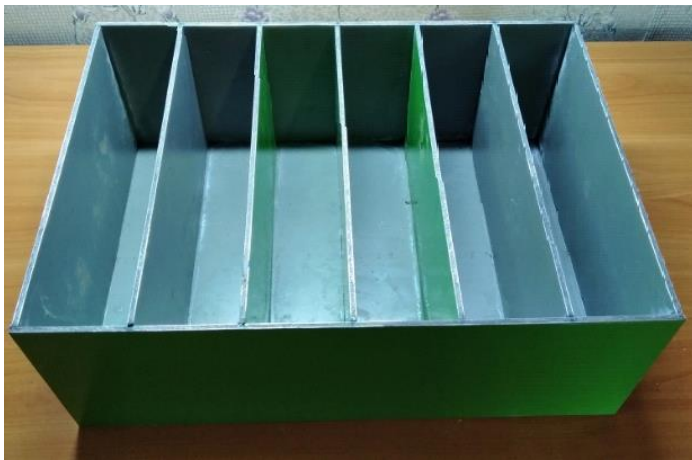
Качество очистки зерна от ядовитых склеротий спорыньи разработанным устройством [2] во многом зависит от равномерности распределения зернового материала по ширине ванны с рабочим водным раствором соли. Поэтому одним из вопросов рассмотрения технологического процесса данной машины является истечение зернового материала из выпускного отверстия загрузочного бункера [1] и исследование его распределения по ширине ванны с рабочим водным раствором соли.

Цель исследования – анализ распределения зернового материала по ширине ванны с рабочим водным раствором соли опытного образца машины МВС-1,0.

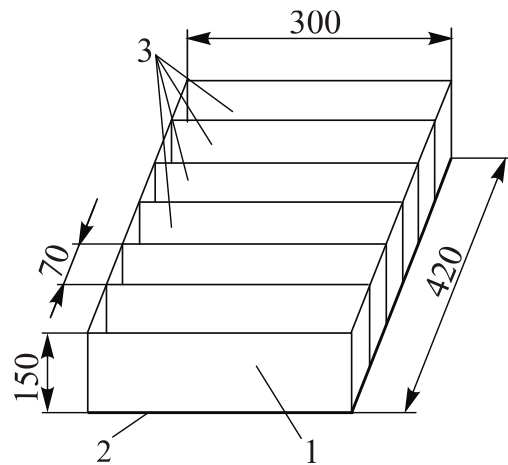
Материал и методы. На качество очистки зерна от ядовитых примесей по плотности в водном растворе соли существенное влияние может оказать равномерность распределения зернового материала по ширине ванны машины. Для определения равномерности распределения зернового материала по ширине ванны изготовлен пробоотборник из алюминиевой композитной панели (АКП) толщиной 0,004 м, представленный на рисунке 1.

Пробоотборник состоит из корпуса 1 с днищем 2. Ширина пробоотборника составляет 0,420 м, длина 0,300 м. Высотой пробоотборник был изготовлен высотой в 0,150 м. Корпус 1 поделен плоскими перегородками на 6 равных секций 3 по 0,070 м. Для склеивания составных частей использован клей «Монолит секундный». Секции 3 пробоотборника обеспечивали индивидуальное взвешивание отобранных проб.

Для проведения исследований использовали зерно озимой ржи сорта Фаленская 4 влажностью 14 %, масса 1000 зерен которого составляла 0,0256 кг. Зерно имело плотность $\rho_z = (1,1...1,3) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, длину $l_z = (5,0...8,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, ширину $b = (1,4...3,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и толщину $\delta = (1,2...3,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [20].



а



б

Рисунок 1. Общий вид (а) и схема (б) пробоотборника для определения равномерности распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – секции

Для взятия проб пробоотборник устанавливается в ванне 3 опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли под выпускным отверстием загрузочного бункера 7, состоящего из вертикальных боковых 5, задней 4 и торцевой 6 стенок, наклонного дна 8 с углом α наклона 60° (рисунок 2) [1].

Взятие проб из данной технологической зоны осуществлялось в трехкратной повторности при разной удельной зерновой нагрузке $q_{зд}$ и установившем режиме истечения зернового материала через выпускное отверстие загрузочного бункера. После этого для анализа отобранных проб пробоотборник вынимается из ванны и осуществляется

взвешивание массы зерна из каждой секции пробоотборника.

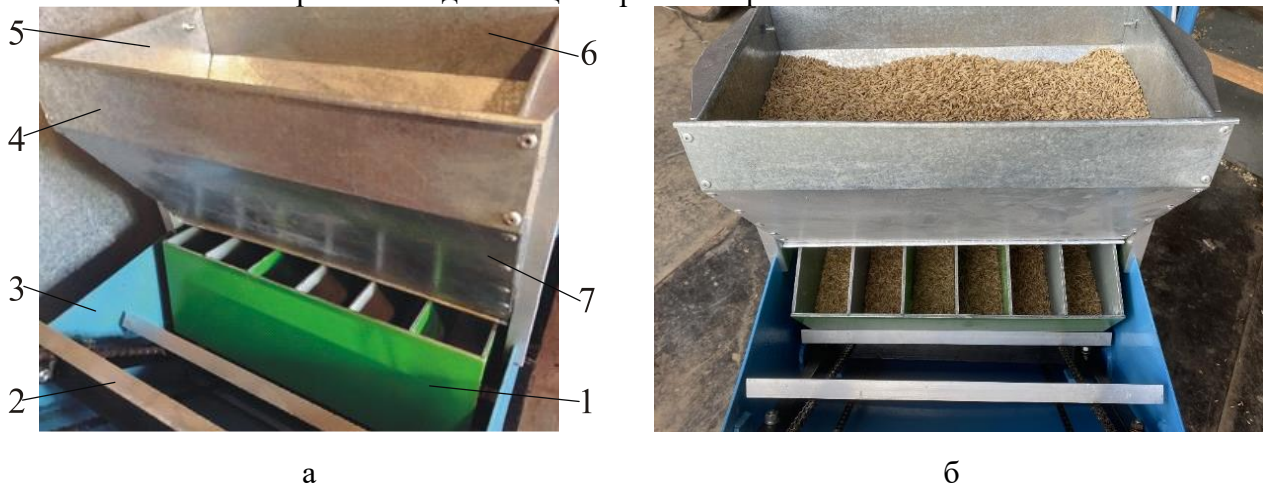


Рисунок 2. Общий вид пробоотборника, установленного под выпускным отверстием загрузочного бункера (а) и при исследовании распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 (б):

1 – пробоотборник; 2 – транспортер семян; 3 – ванна; 4, 5 и 6 – стенки задняя, боковая и передняя загрузочного бункера; 7 – наклонное дно загрузочного бункера

Относительную массу зерна в каждой секции пробоотборника при исследовании распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли определяли по формуле (%):

$$q_{zi} = \frac{m_{zi}}{m_{zn}} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_{zi} – масса зерна в i -ой секции пробоотборника, кг;
 m_{zn} – общая масса зерна в пробоотборнике, кг.

Для сравнения выхода зернового материала из выпускного отверстия загрузочного бункера по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 для выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли при различных значениях удельной зерновой нагрузки q_{yd} использовали один из методов вариационной статистики, позволяющей численно оценивать степень неравномерности распределения зернового материала по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{q_{zcp}}, \quad (2)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение значений относительной массы зернового материала в каждой i -ой секции пробоотборника от среднего значения относительной массы зернового материала, %;
 q_{zcp} – среднее значение относительной массы зернового материала для i -ых секций пробоотборника, %.

Среднее квадратическое отклонение значений относительной массы зернового материала в каждой i -ой секции пробоотборника от среднего значения относительной массы зернового материала определялось по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (q_{зсп} - q_{zi})^2}{n_c - 1}}, \quad (3)$$

где n_c – количество секций пробоотборника, $n_c = 6$ шт.;

q_{zi} – значение относительной массы зернового материала в каждой i -ой секции пробоотборника, кг.

Обработка полученных теоретических данных осуществлена на персональном компьютере NITRO 5 с использованием пакета программ офисной документации по статистической обработке информации Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office 2013.

Результаты и обсуждение. Графики распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли при разных зерновых нагрузках $q_{y\partial}$ (разном зазоре в выпускном отверстии загрузочного бункера) представлены на рисунке 3. Начало отчета координат отложено со стороны щита управления разработанного устройства.

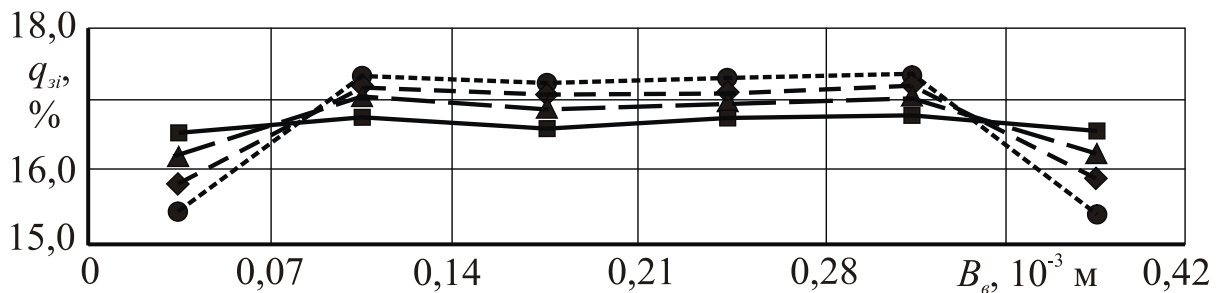


Рисунок 3. Графики распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли:

- (.....●.....) – при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 67,362 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$;
- (-◆-) – при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 146,978 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$;
- (-▲-) – при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 287,101 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$;
- (-■-) – при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 444,952 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$

Анализ зависимостей $q_{zi} = f(B_0)$ распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли показывает незначительное уменьшение истечения через выпускное отверстие зернового материала у боковых стенок загрузочного бункера. Так, при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 67,362 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$, соответствующей открытию выпускного отверстия с зазором 0,010 м, в первую и шестую секции пробоотборника попало по 15,4 % всего истекаемого зернового материала из загрузочного бункера, а в остальных секциях данный показатель варьирует практически одинаково в пределах 17,2...17,3 %.

Аналогичная картина происходит при исследуемой удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 146,978 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$, соответствующей открытию выпускного отверстия с зазором 0,015 м, в первую и шестую секции пробоотборника попало 15,8 и 15,9 % соответственно всего истекаемого зернового материала из загрузочного бункера, а в остальных секциях данный показатель варьирует в пределах 16,9...17,2 %.

Дальнейшее увеличение удельной зерновой нагрузки обуславливает большее выравнивание распределения зернового материала по ширине ванны опытного образца машины МВС-1,0 выделения ядовитой спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли. При удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 287,101 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$, соответствующей открытию выпускного отверстия с зазором 0,020 м, в первый и шестой секции пробоотборника попало

по 16,2 % всего истекаемого зернового материала из загрузочного бункера, а в остальных секциях данный показатель варьирует в пределах 16,8...17,0 %. При исследуемой удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 444,952 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, соответствующей открытию выпускного отверстия с зазором 0,025 м, в первую и шестую секции пробоотборника попало по 16,5 % всего истекаемого зернового материала из загрузочного бункера, а в остальных секциях данный показатель варьирует в пределах 16,6...16,8 %.

Уменьшение истечения через выпускное отверстие зернового материала у боковых стенок загрузочного бункера связано с тем, что присутствует трение зерна об боковые стенки, обуславливающее замедление скорости движения зерновок. Увеличение зазора в выпускном отверстии загрузочного бункера обуславливает большую проходимость зерновой массы у боковых стенок, вследствие этого происходит практически одинаковое количество попадания зерна в каждую секцию пробоотборника.

Среднее значение относительной массы $q_{зср}$ зернового материала для шести секций пробоотборника составляет 16,7 %. Среднее квадратическое отклонение σ значений относительной массы зернового материала в каждой i -ой секции пробоотборника от среднего значения относительной массы $q_{зср}$ зернового материала при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 67,362 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ составляет 0,971; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 146,978 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ равен 0,645; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 287,101 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ имеет значение 0,374; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 444,952 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ – 0,155. Соответственно, коэффициенты неравномерности распределения зернового материала по ширине ванны совершенно незначительны. При удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 67,362 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ составляет $v = 0,06$; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 146,978 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ – $v = 0,04$; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 287,101 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ – $v = 0,02$; при удельной зерновой нагрузке $q_{y\partial} = 444,952 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ – $v = 0,01$.

Закключение. Таким образом, конструктивное исполнение загрузочного бункера обеспечивает вполне удовлетворительное распределение через выпускное отверстие зернового материала по ширине ванны с водным раствором соли опытного образца машины МВС-1,0, необходимое для качественного выделения ядовитых склеротий спорыньи из зерна озимой ржи.

Однако для достижения эффективности технологического процесса опытного образца машины МВС-1,0 необходимы дальнейшие исследования по влиянию зазора между днищем ванны и скребками транспортера семян и частоты его вращения на вынос водного раствора соли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 2631556 Российская Федерация, МПК В65D 88/26. Бункер для сыпучих материалов / Саитов В. Е., Фарафонов В. Г., Суворов А. Н., Саитов А. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия». № 2016140581 ; заявл. 14.10.2016 ; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 27.
2. Патент № 2689470 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи / Саитов А. В., Гатауллин Р. Г., Саитов В. Е. ; заявитель и патентообладатель Саитов Алексей Викторович. № 2018136461/03 ; заявл. 15.10.2018 ; опубл. 28.05.2019, Бюл. 16.
3. Саитов А. В. Способы и технические решения выделения ядовитой спорыньи из зерна злаковых культур // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы XV Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение» : сборник научных трудов. Киров : Вятский ГАТУ, 2022. С. 114-122.
4. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в *Sclerotia claviceps purpurea* в условиях Кировской области / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, В. П. Желифонова [и др.] // Микология и фитопатология. 2019. № 53 (3). С. 177-182. DOI:

<https://doi.org/10.1134 / S0026364819030127>.

5. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Уткина Е. И. Иммунологическая характеристика сортов озимой ржи // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 65 (4). С. 30-35. DOI: <https://doi.org/10.30766 / 20>.

6. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Вредоносность спорыньи у новых сортов озимой ржи в Кировской области // Вестник Марийского государственного университета. 2018. № 2 (14). С. 83-90. DOI: <https://doi.org/10.30914 / 2411-9687-2018-4-2-83-89>.