

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СКЛЕРОЦИЙ СПОРЫНЬИ ИЗ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ СОЛИ**В.Е. Саитов, Р.Ф. Курбанов, А.В. Саитов**

Реферат. Продукты питания из зерна ржи обладают ценнейшими свойствами для укрепления здоровья человека. Однако посевы данной культуры часто заражают ядовитые склероции спорыньи. Современные зерноочистительные машины не обеспечивают полного выделения склероций спорыньи из зерна ржи при проведении очистки за один технологический цикл из-за схожести их физико-механических свойств. Многократный пропуск зернового материала через очистительные механизмы с целью полного выделения ядовитых склероций спорыньи из зернового материала резко повышает затратность процесса очистки. Склероции спорыньи имеют меньшую плотность, чем полноценное зерно ржи, что делает возможным их разделение по этому критерию в водном растворе неорганической соли. Исследования проводили с целью оценки эффективности выделения ядовитых склероций спорыньи и определения потерь зерна (P_3) в отходы при поточном погружении зернового материала в жидкость в зависимости от удельной зерновой нагрузки (g_{y0}) при разной плотности ($\rho_{жс}$) водного раствора соли. В качестве объекта исследования выступала озимая рожь сорта Фаленская 4 влажностью 14 %. Подачу потока зернового материала осуществляли с высоты $h = 60 \cdot 10^{-3}$ м в воду ($\rho_{жс} = 1000$ кг/м³) и водный раствор хлористого натрия (NaCl) плотностью $\rho_{жс} = 1030...1180$ кг/м³ при варьировании удельной зерновой нагрузки $g_{y0} 0,674...7,221$ кг/(с·м). При плотности водного раствора соли $\rho_{жс} = 1150$ кг/м³ и удельной зерновой нагрузке $g_{y0} = 0,674...1,469$ кг/(с·м) происходило 100 %-ное всплытие склероций спорыньи на поверхность раствора, а потери P_3 зерна в отходы при этом не превышали 2,52 %, что соответствует агротехническим требованиям на машины окончательной очистки зерна.

Ключевые слова: зерновой материал, ядовитые склероции спорыньи, машина для очистки зерна, водный раствор соли, зерно озимой ржи, вредная примесь.

Введение. Продовольственная безопасность любой страны во многом зависит от производства необходимого для населения количества зерна, которое определяется не только засеваемыми площадями зерновых культур, но и урожайностью. При этом для формирования высоких урожаев требуется семенной фонд зерна высокого качества [1, 2].

В структуре валового сбора зерновых культур особое место занимает озимая рожь. Это неприхотливая зерновая культура, которая хорошо подходит для возделывания в северных районах Российской Федерации, где в основном преобладают глинистые и суглинистые почвы с малым содержанием гумуса. Рожь в таких условиях при правильной технологии возделывания может формировать достаточно высокие урожаи. Кроме того, продукты питания, приготовленные из зерна ржи, обладают ценнейшими качествами для здоровья человека. В зерне ржи содержатся витамины А, В1, В2, В3 и РР, защищающие организм от старения, авитаминоза, диабета, болезней желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы. Постоянное употребление ржаных изделий позволяет блокировать развитие этих и других заболеваний. Поэтому выращивание озимой ржи в качестве продовольственной культуры имеет большое значение [3].

Одна из проблем, возникающих при возделывании этой культуры, связана с тем, что в период цветения растения озимой ржи могут заражаться спорами спорыньи. Сильная поражаемость этим заболеванием объясняется продолжительностью цветения и особенностями строения цветков ржи, для которых характерно перекрестное опыление, поэтому они про-

должительное время бывают открытыми. При созревании зараженных колосьев ржи в них вместо зерен образуются склероции спорыньи, в которых содержатся ядовитые вещества, вызывающие различные заболевания у людей и животных, способные в ряде случаев приводить к смертельному исходу. Поэтому продукты из зерна ржи с примесью спорыньи непригодны ни для выпечки хлебобулочных изделий, ни на корм животным и птице [4, 5].

Отделение склероций спорыньи от зерна осуществляют на зерноочистительных сушильных пунктах машинами предварительной (МПО-50, ОВС-25, К-527А, МПР-50, МПО-60Д и др.), первичной (МЗС-25, МЗП-25, Р8-БЦС-25, ЗВС-20 и др.), вторичной (МВО-20, МВУ-1500, СМ-4,5, «Петкус Гигант» К-531 и др.) и окончательной (ПСС-1, МОС-9Н и др.) очистки. Однако при их использовании невозможно полностью выделить склероции спорыньи из зернового материала за один технологический процесс, что связано со схожестью их линейных размеров, коэффициента парусности и внутреннего скольжения с зерном ржи [6, 7, 8].

Поэтому для выделения склероций спорыньи требуется многократный пропуск зернового материала через очистительные рабочие органы перечисленных машин, что значительно повышает затратность технологического процесса. Одновременно зерноочистительные машины имеют сложное устройство, трудоемки в техническом обслуживании и ремонте, для привода рабочих органов необходим электродвигатель большой мощности (3 кВт и более). Кроме того, совершенствование воздушной системы и решетчатых станков совре-

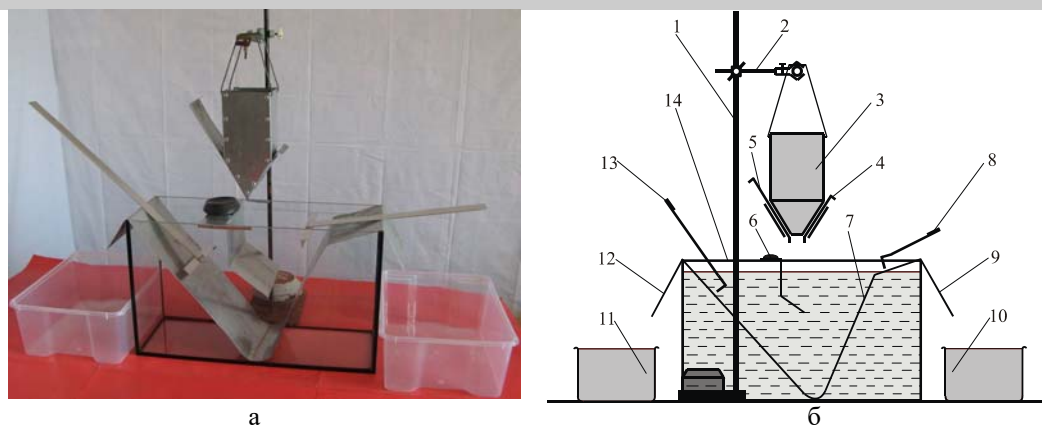


Рис. 1 – Общий вид (а) и схема (б) макетной установки выделения спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли: 1 – лабораторный штатив; 2 – держатель; 3 – бункер; 4 – регулировочная заслонка; 5 – скатная плоскость; 6 – разделительная стенка отсеков семян и отходов; 7 – стенка имитационная; 8 и 13 – скребки разгрузочные; 9 и 12 – скатные доски; 10 и 11 – отгрузочные лотки; 14 – ванна

менных зерноочистительных машин не обеспечивает решения этой задачи [9, 10, 11].

В последние годы все шире используют фотосепараторы для очистки зернового материала по цвету. Однако склероции спорыньи, имеющие в основном темный цвет, в ряде случаев могут приобретать цвет, схожий с окраской зерновок ржи. Следовательно, современные фотоэлектронные сепараторы также не способны гарантированно полностью выделять склероции спорыньи [12, 13].

В то же время плотность склероций спорыньи меньше, чем у полноценной зерновки, что делает возможным их разделение. Для реализации такого подхода, можно, например, использовать способ выделения примесей в водном растворе неорганической соли, в котором склероции спорыньи будут всплывать на поверхность жидкости, а зерно погружаться вниз. Это обстоятельство будет обеспечивать отделение склероций спорыньи от зерна ржи за один технологический цикл. Соответственно, затраты на его реализацию будут значительно меньше, чем при использовании современных зерноочистительных машин [14, 15].

С учетом изложенного было разработано конструктивное решение машины выделения спорыньи из зерна ржи по плотности в водном растворе соли. Она имеет простую конструкцию и состоит из загрузочного бункера, ванны с водным раствором соли, выгрузных устройств зерна и отходов. Для привода рабочих органов требуется электродвигатель небольшой мощности (не более 0,75 кВт) [16, 17].

В результате исследований по обоснованию оптимальной высоты падения зерна на поверхность водного раствора соли, обеспечивающей преодоление поверхностного натяжения жидкости установлено, что как при подаче одиночных зерен, так и при поступлении зерна потоком рациональная высота установки выпускного отверстия загрузочного бункера должна составлять 0,060 м [18, 19].

Цель исследования – определение эффективности выделения ядовитых склероций спо-

рыньи и выявление потерь P_3 зерна в отходы при поточном погружении зернового материала в жидкость в зависимости от удельной зерновой нагрузки g_{y0} при разной плотности $\rho_{жс}$ водного раствора соли.

Условия, материалы и методы. Для достижения поставленной цели были проведены практические опыты на экспериментальной установке (рис. 1). В процессе проведения исследований зерновой материал, загруженный в накопительную часть бункера 3, через выпускное отверстие подавали потоком в ванну 14 с водным раствором соли. При попадании в водный раствор соли полноценные зерна опускались на дно ванны 14, а склероции спорыньи, а также шуплое зерно, имеющие меньшую плотность, по сравнению с полноценным, всплывали на поверхность. Откуда их принудительно, утапливая в раствор соли при помощи скребка 8 на глубину ширины его полки, выводили вручную через наклонную часть имитационной стенки 7 в направлении выгрузки к скатной доске 9. Полноценные зерна со дна ванны 14 вручную захватывали скребком 13 и перемещали по наклонной стенке 7 в направлении выгрузки к скатной доске 12.

При перемещении скребками 8 и 13 полноценных зерен и отходов в направлении выгрузки водный раствор соли стекает через зазор между рабочим краем скребков и поверхностью имитационной стенки 7 отсеков вывода семян и отходов обратно в ванну 14. Далее отходы и полноценное зерно по скатным доскам соответственно 9 и 12 поступают в отгрузочные лотки 10 и 11.

Подачу зернового материала осуществляли с высоты $h = 60 \cdot 10^{-3}$ м в воду ($\rho_{жс} = 1000$ кг/м³) и водный раствор хлористого натрия (NaCl) плотностью $\rho_{жс} = 1030, 1060, 1090, 1120, 1150$ и 1180 кг/м³ при варьировании удельной зерновой нагрузки g_{y0} со значениями 0,674; 1,469; 2,871; 4,449 и 7,221 кг/(с·м).

Зерновой материал состоял из 10000 зерен озимой ржи сорта Фаленская 4 и 1000 штук склероций спорыньи.

Долю P_C выделенных склероций спорыньи от числа поданных на установку вместе с зерновками озимой ржи сорта Фаленская 4 определяли по формуле (%):

$$P_C = \frac{n_6}{n_5} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где n_5 – число поданных склероций спорыньи, шт.;

n_6 – число склероций спорыньи, оказавшихся на поверхности жидкости, шт.

Долю зерен, не утонувших даже после принудительного воздействия, которая соответствует потерям Π_3 зерна в отходы, определяли по формуле:

$$\Pi_3 = \frac{n_4}{n_1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где n_1 – число подаваемых зерен, шт.;

n_4 – число зерен, оставшихся на поверхности, даже после принудительного воздействия, шт.

Обработку экспериментальных данных осуществляли на персональном компьютере SAMSUNG NP-R540H с использованием специальной программы по статистической обработке данных SigmaPlot 11.0.

Результаты и обсуждение. Зависимость доли P_C выделенных склероций спорыньи от удельной зерновой нагрузки $g_{y\partial}$ при разной плотности $\rho_{ж}$ жидкости описывается следующим уравнением (%):

$$P_C = -3524,385 - 0,575g_{y\partial} + 6,084\rho_{ж} - 0,310g_{y\partial}^2 - 0,003\rho_{ж}^2; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,960$$

Результаты анализа зависимости свидетельствуют о том, что плотность $\rho_{ж}$ водного раствора соли оказывает большее влияние на величину P_C , чем удельная зерновая нагрузка $g_{y\partial}$. Достоверность полученной регрессионной модели подтверждается малыми отклонениями фактических значений от расчетных $|\bar{P}_C - P_C|$, которые находятся на уровне 0,6...11,6 %. Величина скорректированного коэффициента множественной детерминации R^2 (Adj Rsqr) указыва-

ет на то, что 96,0 % изменения функции $P_C = f(g_{y\partial}, \rho_{ж})$ объясняется вариацией ее переменных $g_{y\partial}$ и $\rho_{ж}$. Остальные 4,0 % приходятся на факторы, не учтенные в принятой модели. Это свидетельствует о достаточно хорошем качестве полученной регрессионной модели.

Анализ поверхности отклика (рис. 2а) свидетельствует о том, что наибольшее выделение склероций спорыньи (P_C) достигается при удельных зерновых нагрузках $g_{y\partial} = 0,674$ и $1,469$ кг/(с·м). Так, при поступлении зернового материала в воду ($\rho_{ж} = 1000$ кг/м³) величина этого показателя не превышает 14 и 13 %. При увеличении плотности $\rho_{ж}$ водного раствора соли с 1090 до 1120 кг/м³ средние значения P_C для $g_{y\partial} = 0,674$ кг/(с·м) составляют соответственно 84,0 и 98,0 %, а для $g_{y\partial} = 1,469$ кг/(с·м) – 83,0 и 97,0%. При плотности $\rho_{ж}$ водного раствора соли 1150 кг/м³ на поверхность всплывают все склероций спорыньи ($P_C = 100$ %). Поэтому дальнейшее увеличение плотности $\rho_{ж}$ водного раствора соли становится не целесообразным.

Повышение удельных зерновых нагрузок $g_{y\partial}$ сопровождается снижением выделения склероций спорыньи из зернового материала. Так, по мере увеличения удельной зерновой нагрузки $g_{y\partial}$ с $2,871$ кг/(с·м) до $4,449$ и $7,221$ кг/(с·м) величина P_C при подаче в воду ($\rho_{ж} = 1000$ кг/м³) снижается с $11,0$ % до $8,0$ и $1,0$ % соответственно, в водный раствор соли плотностью $\rho_{ж} = 1030$ кг/м³ с $25,0$ % до $22,0$ и $10,0$ % соответственно, что ниже чем при $g_{y\partial} = 0,674$ и $1,469$ кг/(с·м). Полное выделение склероций спорыньи не достигается даже при значительном увеличении плотности $\rho_{ж}$ водного раствора соли. При удельных зерновых нагрузках $g_{y\partial}$ $2,871$; $4,449$ и $7,221$ кг/(с·м) и плотности раствора $\rho_{ж} = 1150$ кг/м³ оно составляет $95,0$; $90,0$ и $79,0$ % соответственно, а при плотности раствора $\rho_{ж} = 1180$ кг/м³ – $97,0$; $93,0$ и $80,0$ %.

Большее выделение склероций спорыньи при невысоких удельных зерновых нагрузках $g_{y\partial} = 0,674$ и $1,469$ кг/(с·м) обусловлено тем, что в этом случае ядро зернового потока при поступлении в жидкость на небольшой глубине рассыпается, увеличивая межзерновое

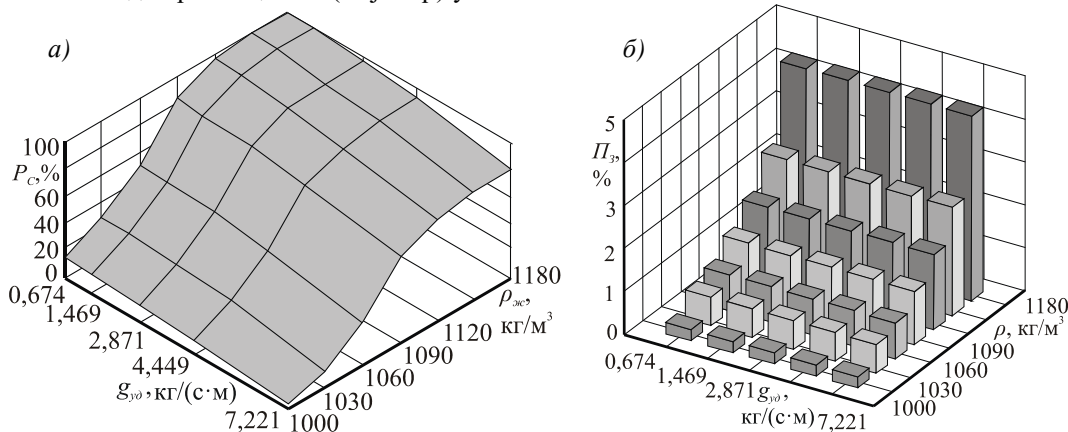


Рис. 2 – Зависимости доли P_C выделенных склероций спорыньи (а) и потерь Π_3 зерна в отходы (б) при погружении потоком в воду и водный раствор хлористого натрия (NaCl) зернового материала озимой ржи сорта Фаленская 4 от удельной зерновой нагрузки $g_{y\partial}$ при разной плотности $\rho_{ж}$ жидкости

расстояние, и склероции всплывают на поверхность, отделяясь от основного потока. Уменьшение выделения склероций при больших удельных зерновых нагрузках ($g_{y\partial} = 2,871...7,221$ кг/(с·м)) связано с тем, что ядро зернового потока при поступлении в жидкость рассыпается глубже, увлекая некоторое количество склероций спорыньи. В результате часть из них оказывается на дне ванны, а затем выносятся вместе с очищенными семенами.

Зависимость потерь P_3 зерна в отходы от удельной зерновой нагрузки $g_{y\partial}$ при разной плотности $\rho_{ж}$ жидкости описывается следующим уравнением (%):

$$P_3 = 137,4158 + 0,0018g_{y\partial} - 0,2699\rho_{ж} - 0,0002g_{y\partial}^2 - 0,0001\rho_{ж}^2 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,969$$

Из уравнения (4) следует, что на потери P_3 зерна большее влияние оказывает плотность $\rho_{ж}$ водного раствора соли, взаимосвязь величины этого показателя с удельной зерновой нагрузкой $g_{y\partial}$ практически отсутствует. Достоверность регрессионной модели подтверждают малые отклонения фактических значений от теоретических $\{P_3 - \bar{P}_3\}$, которые составляют 0,060...0,347 %. Величина скорректированного коэффициента множественной детерминации R^2 (Adj Rsqr) указывает на то, что 96,9 % изменения функции $P_3 = f(g_{y\partial}, \rho_{ж})$ объясняется вариацией переменных $g_{y\partial}$ и $\rho_{ж}$. Остальные 3,1 % связаны с факторами, не учтенными в принятой модели. Потому ее качество можно считать достаточно хорошим.

Потери P_3 зерна в отходы при погружении в воду ($\rho_{ж} = 1000$ кг/м³) в среднем составляют 0,25 % (рис. 2б), при плотности $\rho_{ж}$ водного раствора соли 1030 кг/м³ они возрастают до 0,67 %, 1060 кг/м³ – до 0,84 % и 1090 кг/м³ – 1,25 %. При плотности водного раствора соли

$\rho_{ж} = 1120$ и 1150 кг/м³ потери P_3 зерна в отходы достигают 1,75 и 2,52 % соответственно, что связано с повышением коэффициента поверхностного натяжения раствора. Однако даже при плотности водного раствора соли $\rho_{ж} = 1180$ кг/м³ величина потерь P_3 зерна в отходы (4,32 %) не превышает агротехнических требований к машинам окончательной очистки зерна.

Выводы. Таким образом, при погружении зернового материала, состоящего из зерна озимой ржи сорта Фаленская 4 и склероций спорыньи влажностью 14 %, потоком в воду и водный раствор хлористого натрия (NaCl) при температуре 20 °С с высотой подачи $h = 60,0 \cdot 10^{-3}$ м, плотность $\rho_{ж}$ жидкости оказывает большее влияние на технологический процесс его разделения на фракции, чем удельная зерновая нагрузка $g_{y\partial}$. При плотности водного раствора соли $\rho_{ж} = 1150$ кг/м³ и удельной зерновой нагрузке $g_{y\partial} = 0,674...1,469$ кг/(с·м) происходит 100 %-ное всплытие склероций спорыньи на поверхность раствора. Потери зерна в отходы при этом не превышают 2,52 %, что соответствует агротехническим требованиям для машин окончательной очистки зерна.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0767-2019-0094) «Создание инновационных технологий и технологий нового поколения для механизации растениеводства и животноводства, адаптированных к климатическим условиям северо-востока европейской части России» и по научной теме ФГБНУ ВО Вятский ГАТУ «Инновационные технологии, рациональное природопользование и технические средства в агропромышленном комплексе для условий Кировской области и Приволжского федерального округа» (утвержден Ученым советом Вятского ГАТУ, протокол №1 от 29.01.2021 г.) (г. Киров, Россия).

Литература

1. Концептуальные направления развития научно-инновационного проекта «Рожь России» / В.А. Сысуев, Л.И. Кедрова, Н.Е. Рубцова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 28-31.
2. Сысуев В.А. Приоритеты и проблемы аграрной науки на Евро-Северо-Востоке России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 3 (46). С. 4-9.
3. Энергия ржи для здоровья человека / В.А. Сысуев, Л.И. Кедрова, Н.К. Лаптева и др. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2010. 103 с.
4. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Уткина Е.И. Иммунологическая характеристика сортов озимой ржи // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 4 (65). С. 30-35. doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.30-35.
5. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *claviceps purpurea* в условиях Кировской области / Т.К. Шешегова, Л.М. Щеклеина, В.П. Желифонова и др. // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 3. С. 177-182. doi: 10.1134/S0026364819030127.
6. Очистка зерна от спорыньи / В.А. Сысуев, В.Е. Сайтов, П.А. Савиных и др. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 6. С. 46-49.
7. Машины для послеуборочной обработки зерна / Б.С. Окнин, И.В. Горбачев, А.А. Терехин и др. М.: Агропромиздат, 1987. 238 с.
8. Галкин В.Д., Галкин А.Д., Елисеев С.Л. Технологии, машины и агрегаты послеуборочной обработки зерна и подготовки семян: монография. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2021. 234 с.
9. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds / A.M. Gievsky, V.I. Orobinsky, A.P. Tarasenko, et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042035. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/4/042035> (дата обращения: 05.01.2022). doi: 10.1088/1757-899X/327/4/042035.
10. Astanakulov K.D., Karimov Y.Z., Fozilov G. Design of a grain cleaning machine for small farms // AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2011. No. 42(4). P. 37-40.

11. Гиевский А.М., Гулевский В.А., Оробинский В.И. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 3(85). С. 12-16.

12. Сайтов А.В. Особенности функционирования фотосепараторов для очистки зерна и семян от примесей // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: монография / под общ. ред. В.А. Сысуева, Г.А. Баталовой, Е.М. Лисицына. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 352-355.

13. Мяснянкин К.В. Обоснование применения фотосепаратора для второго цикла обработки зернового вороха гречихи // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 3(46). С. 126-131.

14. Кожуховский И.Е., Павловский Г.Т. Механизация очистки и сушки зерна. М.: Колос, 1968. 312 с.

15. Использование солевых растворов для выделения спорыньи из зерна озимой ржи / В.А. Сысуев, В.Е. Сайтов, И.А. Устюжанин и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1(56). С. 70-73.

16. Пат. 2616037 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи от семян ржи / 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». № 2015148311; заявл. 10.11.2015, опубл. 12.04.2017, Бюл. 11.

17. Пат. 2757605 Российская Федерация, МПК В03В 5/48, В02В 1/04. Машина для отделения спорыньи из зерна злаковых культур / Сайтов А.В., Гатауллин Р.Г., Сайтов В.Е., Фарафонов В.Г.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Новатор-Агро» (Ооо «Новатор-Агро»). № 2021107620; заявл. 22.03.2021, опубл. 19.10.2021, Бюл. № 29.

18. Сайтов В.Е., Фарафонов В.Г., Сайтов А.В. Теоретическое обоснование высоты расположения выхода загрузочного бункера в машине выделения вредных примесей мокрым способом // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 3. С. 355-376. doi: 10.15507/2658-4123.030.202003.355-376.

19. Сайтов А.В., Сысуев В.А., Сайтов В.Е. Исследование погружения зерна потоком в жидкость различной плотности методами планирования эксперимента // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 3. С. 414-429. doi: 10.15507/2658-4123.031.202103.414-429.

Сведения об авторах:

Сайтов Виктор Ефимович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка; e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

Курбанов Рустам Файзуллакович – доктор технических наук, проректор по науке; e-mail: prorektor_nir@vgsha.info;

Сайтов Алексей Викторович – аспирант; e-mail: alexeysaitov@yandex.ru

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия.

STUDY OF THE ISOLATION OF ERGOT SCLEROTIA FROM GRAIN MATERIAL IN AQUEOUS SOLUTION OF SALT V.E. Saitov, R.F. Kurbanov, A.V. Saitov

Abstract. Food products from rye grain have the most valuable properties for improving human health. However, crops of this crop often infect poisonous ergot sclerotia. Modern grain cleaning machines do not provide complete isolation of ergot sclerotia from rye grain during cleaning in one technological cycle due to the similarity of their physical and mechanical properties. Repeated passage of the grain material through the cleaning mechanisms in order to completely isolate the poisonous ergot sclerotia from the grain material dramatically increases the cost of the cleaning process. Ergot sclerotia have a lower density than a full-fledged rye grain, which makes it possible to separate them according to this criterion in an aqueous solution of an inorganic salt. The aim of the study is to determine the efficiency of the isolation of poisonous ergot sclerotia and to identify the loss of grain P_z into waste during in-line immersion of the grain material in a liquid, depending on the specific grain load g_{sp} at different densities ρ_{ch} of an aqueous salt solution. As objects of research, it was accepted to study the isolation of ergot sclerotia from winter rye grains of the Falenskaya 4 variety with a moisture content of 14% by density in an aqueous salt solution and to determine the possible losses of high-grade grain to waste. Studies have been carried out when grain material is supplied by a flow from a height $h = 60 \cdot 10^{-3}$ m into water ($\rho_{ch} = 1000$ kg/m³) and an aqueous solution of sodium chloride (NaCl) with a density $\rho_{ch} = 1030 \dots 1180$ kg/m³ with varying specific grain load g_{sp} with values of 0.674...7.221 kg/(s·m). It has been established that at a density of an aqueous solution of salt $\rho_{ch} = 1150$ kg/m³ and a specific grain load $g_{sp} = 0.674 \dots 1.469$ kg/(s·m), 100% ergot sclerotia emerge to the surface of the solution, and the loss of grain P_z to waste does not exceed 2.52%, which meet the agrotechnical requirements for final grain cleaning machines.

Key words: grain material, poisonous ergot sclerotia, grain cleaning machine, aqueous salt solution, winter rye grain, harmful impurity.

References

1. Sysuev VA, Kedrova LI, Rubtsova NE. [Conceptual directions of development of the scientific and innovative project "Rye of Russia"]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015; Vol.29. 11. 28-31 p.

2. Sysuev VA. [Priorities and problems of agricultural science in the Euro-North-East of Russia]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2015; 3 (46). 4-9 p.

3. Sysuev VA, Kedrova LI, Lapteva NK. Energiya rzhi dlya zdorov'ya cheloveka. [Energy of rye for human health]. Киров: NIISKh Severo-Vostoka. 2010; 103 p.

4. Sheshhegova TK, Shchekleina LM, Utkina EI. [Immunological characteristics of winter rye varieties]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018; 4 (65). 30-35 p. doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.30-35.

5. Sheshhegova TK, Shchekleina LM, Zhelifonova VP. [Resistance of rye varieties to ergot and the content of ergoalkaloids in claviceps purpurea sclerotia under the conditions of Kirov region]. Mikologiya i fitopatologiya. 2019; Vol.53. 3. 177-182 p. doi: 10.1134/S0026364819030127.

6. Sysuev VA, Saitov VE, Savinykh PA. [Cleaning grain from ergot]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2015; 6. 46-49 p.
7. Oknin BS, Gorbachev IV, Terekhin AA Mashiny dlya posleuborochnoi obrabotki zerna. [Machines for post-harvest processing of grain]. Moscow: Agropromizdat. 1987; 238 p.
8. Galkin VD, Galkin AD, Eliseev SL. Tekhnologii, mashiny i agregaty posleuborochnoi obrabotki zerna i podgotovki semyan: monografiya. [Technologies, machines and units of post-harvest processing of grain and seed preparation: monograph]. Perm': IPTs Prokrost'. 2021; 234 p.
9. Gievsky AM, Orobinsky VI, Tarasenko AP. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. [Internet]. IOP conference series: proceedings of science and engineering. 2018. Vol.327. 042035 p. [cited 2022, January 05]. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/4/042035>. doi: 10.1088/1757-899X/327/4/042035.
10. Astanakulov KD, Karimov YZ, Fozilov G. Design of a grain cleaning machine for small farms. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2011; 42(4). 37-40 p.
11. Gievskii AM, Gulevskii VA, Orobinskii VI. [Ways to increase the productivity of universal grain cleaning machines]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V.P.Goryachkina"*. 2018; 3(85). 12-16 p.
12. Saitov AV, Sysuev VA, Batalova GA, Lisitsyn EM. Osobennosti funktsionirovaniya fotoseparatorov dlya ochkistki zerna i semyan ot primesei. *Metody i tekhnologii v selektsii rastenii i rastenievodstve: monografiya*. [Features of the operation of color sorters for cleaning grain and seeds from impurities. Methods and technologies in plant breeding and crop production: monograph]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka. 2016; 352-355 p.
13. Myasnyankin KV. [Substantiation of the use of a color sorter for the second cycle of processing a grain heap of buckwheat]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; 3(46). 126-131 p.
14. Kozhukhovskii IE, Pavlovskii GT. Mekhanizatsiya ochkistki i sushki zerna. [Mechanization of grain cleaning and drying]. Moscow: Kolos. 1968; 312 p.
15. Sysuev VA, Saitov VE, Ustyuzhanin IA. [The use of saline solutions for the isolation of ergot from winter rye grains]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017; 1(56). 70-73 p.
16. Sysuev VA, Saitov VE, Savinykh PA, Saitov AV. Pat. 2616037 Rossiiskaya Federatsiya, MPK V03V 5/48, V02V 1/04. [Machine for separating ergot from rye seeds]. *zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe nauchnoe uchrezhdenie "Zonal'nyi nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva Severo-Vostoka imeni N.V. Rudnitskogo"*. № 2015148311; *zayavl.* 10.11.2015, *opubl.* 12.04.2017, *Byul.* 11.
17. Saitov AV, Gataullin RG, Saitov VE, Farafonov VG. [Machine for separating ergot from cereal grains]. Pat. 2757605 Rossiiskaya Federatsiya, MPK V03V 5/48, V02V 1/04.; *zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu «Novator-Agro»*. № 2021107620; *zayavl.* 22.03.2021, *opubl.* 19.10.2021, *Byul.* № 29.
18. Saitov VE, Farafonov VG, Saitov AV. [Theoretical substantiation of the height of the outlet of the loading hopper in the machine for the extraction of harmful impurities by the wet method]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2020; Vol.30. 3. 355-376 p. doi: 10.15507/2658-4123.030.202003.355-376.
19. Saitov AV, Sysuev VA, Saitov VE. [Investigation of grain immersion by a flow into a liquid of different density by methods of experiment planning]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2021; Vol.31. 3. 414-429 p. doi: 10.15507/2658-4123.031.202103.414-429.

Authors:

Saitov Victor Efimovich - Doctor of Technical sciences, senior researcher, professor of the Department of Operation and Repair of the Machine and Tractor Park; e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru
 Federal Agrarian Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia.
 Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia.
 Kurbanov Rustam Fayzulkhakovich - Doctor of Technical sciences, Vice-Rector for Science; e-mail: prrektor_nir@vgsha.info;
 Saitov Aleksey Viktorovich – post-graduate student; e-mail: alexeysaitov@yandex.ru
 Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia.

Acknowledgements: The work was carried out as part of the State task of Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center of North-East (topic No. 0767-2019-0094) «Creation of innovative technologies and new generation technologies for the mechanization of crop production and animal husbandry adapted to the climatic conditions of the north-east of the European part of Russia» and on the scientific topic of Federal State Budgetary Scientific Institution of Higher Education Vyatka GATU «Innovative technologies, rational environmental management and technical means in the agro-industrial complex for the conditions of the Kirov region and the Volga Federal District» (approved by the Academic Council of the Vyatka GATU, protocol No. 1 of 01.29.2021) (Kirov, Russia).