УДК 631.362.322: 631.52: 683.85

DOI 10.25230/2412–608X–2019–2–178–81–88

Селекционная малогабаритная семяочистительная машина

В.Ю. Ревенко,

кандидат технических наук

С.С. Фролов,

кандидат сельскохозяйственных наук

А.Н. Ткаченко,

ведущий инженер

Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ
ФНЦ ВНИИМК

Россия, 352925, Краснодарский край, г. Армавир,
пос. Центральной усадьбы опытной станции ВНИИМК
Тел.: (86137) 3-13-76

E-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru.

Для цитирования: Ревенко В.Ю., Фролов С.С.,
Ткаченко А.Н. Селекционная малогабаритная се-
мяочистительная машина // Масличные культуры. –
2019. – Вып. 2 (178). – С. 81–88.

Ключевые слова: селекция, масличные куль-
туры, испытательный стенд, семяочистительная
машина, конструктивные параметры.

Совершенствование технических средств для
очистки семян масличных культур является акту-
альной задачей, решение которой необходимо для
получения качественного селекционного материа-
ла и сохранения его генетической чистоты. С це-
лью практической реализации поставленной
задачи разработана оригинальная конструкция
малогабаритной селекционной семяочистительной
машины, оптимальные конструктивные и техно-
логические параметры которой были найдены
эмпирическим путем с использованием специаль-
ного стенда. Уникальность данного стенда состо-
ит в возможности изменения его настроек в
широком диапазоне, недостижимом ни для одной
из существующих зерноочистительных машин. По
результатам проведенных на стенде исследований
обоснована технологическая схема проектируе-
мой машины, найдены оптимальные параметры
решетного стана, системы аспирации и изготовлен
макетный образец малогабаритного селекционно-
го сепаратора. Разработанное устройство отлича-
ется простотой обслуживания, легким доступом к
скрытым полостям, широким диапазоном настроек,
низкой стоимостью, высокой ремонтопригод-
ностью. Технология обработки семенного вороха
на базе разработанной конструкции, обеспечивает
требуемые стандартами показатели чистоты семян

масличных культур. Длительный опыт эксплуата-
ции машины доказал её высокую надежность и
адаптивность к селекционному процессу.

UDC 631.362.322; 631.52; 683.85

Breeding small-sized seed cleaning machine.

V.Yu. Revenko, PhD in engineering

S.S. Frolov, PhD in agriculture

A.N. Tkachenko, leading engineer

Armavir Experimental Station – Branch of the Feder-
al Scientific Center “V.S. Pustovoi All-Russian Re-
search Institute of Oil Crops”

The Central settlement of the experimental station of
VNIIMK, Armavir, Krasnodar region, 352925, Russia
Tel.: (86137) 3-13-76

E-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru

Key words: breeding, oil crops, testing bench,
seed cleaning machine, design parameters.

Improvement of technical means for cleaning of
oil crops seeds is an urgent task, the solution of which
is necessary to obtain high-quality seeds and preserve
its genetic purity. To implement the task, we devel-
oped the original design of a small-sized seed clean-
ing machine, the optimal design and technological
parameters of which were found empirically using a
special testing bench. The uniqueness of this bench is
the ability to change its settings in a wide range, unat-
tainable for any of the existing grain cleaning ma-
chines. According to the results of the researches
carried out at the testing bench, the technological
scheme of the designed machine is justified, the opti-
mal parameters of the sieve, the aspiration system are
found and a model sample of a small-sized selection
separator is made. The developed device is character-
ized by easy maintenance, easy access to hidden cavi-
ties, a wide range of settings, low cost, high
maintainability. Processing technology of seed bulk
on the basis of the developed design provides the re-
quired standards of purity of oil seeds. Long-term
experience of operation of the machine proved its
high reliability and adaptability to the breeding pro-
cess

Введение. Известно, что используемые
в селекции лабораторные семяочисти-
тельные машины существенно отличаются
от изделий, применяемых в
производственной практике зерноочисти-
ки. Основные требования к селекционной
технике: высокая эффективность очистки
и сортирования, малые габариты, низкая
травмируемость семян при минимальном
механическом воздействии на обрабаты-

ваемый материал, возможность тщательной очистки рабочих полостей машины от семян после каждой переработанной партии.

Несмотря на то, что в настоящее время рынок сельскохозяйственных зерноочистительных машин перенасыщен, современным требованиям к селекционной технике отвечает лишь незначительная часть оборудования. Производимые в настоящее время отечественные образцы лабораторных сепараторов в основном рассчитаны на переработку зерновых колосовых и в недостаточной степени адаптированы к масличным культурам [1]. Так, далеко не все из них способны довести чистоту семенного материала до требований ГОСТ Р 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортосовые и посевные качества». При обработке некоторых семян масличных культур, особенно подсолнечника, отмечается повышенная их травмируемость, а также вынос системой аспирации полноценных семян в отходы. Кроме того, известные аналоги обладают высокой энергоемкостью и металлоемкостью. В этой связи совершенствование технических средств для очистки семян масличных культур является актуальной задачей, решение которой необходимо для получения качественного селекционного материала и сохранения его генетической чистоты.

Для решения поставленной задачи необходимо: обосновать рациональную схему малогабаритной зерноочистительной машины для очистки и фракционирования небольших партий семенного материала; с помощью специального стенда определить её конструктивные и кинематические параметры; изготовить макетный образец воздушно-решетного сепаратора; установить оптимальные настройки машины для обеспечения требуемых стандартом показателей качества очистки семян.

Материалы и методы. При разработке малогабаритного сепаратора учитывались конструктивные особенности самых

современных образцов селекционных машин-аналогов, включая зарубежные. Так, по результатам проведённого патентного поиска выявлено, что конструкция данных машин отличается: легким доступом к скрытым полостям, простотой обслуживания, низким уровнем шума и вибраций. Большинство сепараторов оснащено бункерами-питателями с вибраторами. В пред- и постаспирационных системах бесступенчато регулируется поток воздуха, для эффективного отделения легких примесей от конечного продукта. Решета в основном легкоъемные со специальными креплениями, включая магнитные и вакуумные. Конструкция решетчатого стана приспособлена для быстрой и полной очистки внутренних полостей.

Теоретическое обоснование рациональных размерных и кинематических параметров малогабаритной селекционной сеяноочистительной машины – задача со многими неизвестными, требующая учёта влияния большого количества внутренних и внешних факторов. Так, в отличие от обычных зерноочистительных машин, габаритные размеры лабораторных сепараторов значительно меньше, следовательно, время воздействия на очищаемый ворох также существенно отличается. Поэтому поиск оптимальных параметров воздушно-решетной машины проводился эмпирическим путем, с использованием имеющегося на Армавирской опытной станции специального стенда, конструкция которого позволяла в широких пределах изменять: частоту и амплитуду колебаний решет, их размеры, угол наклона решетчатого стана (α), угол направления колебаний (β), длину шатуна, угол между направлением колебаний и плоскостью решета ($\gamma = \alpha + \beta$) и другие параметры.

Общий вид стенда приведен на рисунке 1. Он состоит из рамы, на которой установлены: алюминиевый решетчатый стан эксцентрикового приводного механизма, системы щеточной очистки решет, бункера-питателя, электрической арматуры и

других узлов. Привод кривошипно-шатунного механизма осуществляется от электродвигателя, частота вращения которого плавно изменяется от 0 до 800 об./мин, с помощью частотного преобразователя (в нашем случае Lenze ESV 222ND4TX).

Рисунок 1 – Стенд для определения оптимальных параметров зерноочистительных машин

Основное достоинство и оригинальность данного стенда состоит в возможности изменения настроек, а также геометрических и кинематических параметров в диапазонах, недостижимых ни для одной из существующих зерноочистительных машин, что очень важно при очистке обширного спектра семян сельскохозяйственных культур.

Конструкция эксцентрикового механизма позволяет в широких пределах варьировать амплитудой колебания решет. Для этого данный узел состоит из ведущей и ведомой зубчатых полушестерен. Выводя из зацепления ведущую полушестерню и проворачивая ее относительно ведомой полушестерни на несколько зубьев, можно изменять амплитуду колебаний решетчатого стана от 2 до 14 мм. Угол направления колебаний (угол β) может варьировать в пределах от 0 до 45°, бла-

годаря специальному карусельному механизму, позволяющему сохранять неизменным расстояние от шарнира крепления шатуна к стану до вала кривошипно-шатунного механизма (рис. 2).

Рисунок 2 – Механизм изменения угла направления колебаний:

- 1 – решетчатый стан; 2 – ось крепления шатуна, совпадающая с осью крепления задних опорных стоек; 3 – электродвигатель;
- 4 – шкив привода эксцентрикового вала;
- 5 – опорная стойка; 6 – направляющие

С целью получения массива экспериментальных данных, нами исследовалось влияние на эффективность процесса очистки вороха: угла наклона решетчатого стана α , частоты и амплитуды колебаний, угла направления колебаний β , длины решет и других факторов. По результатам стендовых испытаний строили графические зависимости выхода основной фракции от настроек стенда. Исследования проводили на очистке вороха подсолнечника гибрида Мэлин с относительно высокой засоренностью – до 23 %. Получаемые фракции в соответствии с известной методикой [8] взвешивали после каждой настройки машины. Повторность опытов – 5-кратная. Примеры некоторых из полученных зависимостей представлены в виде графиков на рисунках 3 и 4.

Рисунок 3 – Зависимость чистоты вороха от амплитуды и частоты колебаний решетного стана станда

Рисунок 4 – Выход основной фракции в функции частоты вращения эксцентрикового механизма (при различных углах наклона решетного стана и амплитуды колебаний)

Так, из диаграммы, представленной на рисунке 3, следует, что рост амплитуды и частоты колебаний решетного стана негативно отражаются на качестве очистки, так как ворох начинает ускоренно продвигаться по колосовому решету, унося с собой в отходы семена основной культуры. Изменение угла направления колебаний β в исследуемых пределах (от 6 до 10°) оказывало незначительное влияние на показатели чистоты вороха. Однако с ростом β повышался шум рабочего процесса. При угле наклона решетного стана α менее 4° вообще прекращалось продвижение вороха вдоль решета. При увели-

чении скорости подачи вороха, частоты и амплитуды колебаний и угла наклона больше, чем на 12°, ворох сходил практически неочищенным с колосового решета в лоток для крупных примесей.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований по поиску наиболее эффективных конструктивных решений и оптимальных кинематических параметров малогабаритной сеяноочистительной машины выявлено следующее: угол наклона решет должен находиться в пределах 7–9°, частота колебаний – 300–700 кол./мин, амплитуда – 4–7 мм, угол направления колебаний – 8–9°; длина решет – 750–850 мм (с целью унификации с серийными полотнами принята равной 790 мм), ширина – 330–350 мм. Перечисленные исходные требования были реализованы в конструкции малогабаритной лабораторной сеяноочистительной машины.

При разработке решетной части сепаратора учитывались следующие нюансы: жесткая рама и сбалансированный эксцентриковый привод должны полностью гасить колебания сепаратора, устанавливаемого обычно в камеральных помещениях, агрегат должен быть простым в обслуживании, бесшумным, решета должны быть легкоъемными, скрытые полости – легкодоступными. С целью выполнения вышеперечисленных требований эксцентриковый привод решетного стана оснастили частотным преобразователем, плавно изменяющим частоту вращения кривошипно-шатунного механизма, что позволило тонко настраивать процесс сепарации. Кроме того, благодаря цифровой индикации можно точно воспроизвести настройки стана при переходе от очистки вороха одной культуры к другой.

Вместо щеточного механизма очистки решет использовались шариковые очистители, включающие подрешетные отражатели, разделенные на секции и наполненные силиконовыми шариками. Для малогабаритной машины такой способ очистки решет является оптималь-

ным, как наиболее простой в конструктивном исполнении, имеющий высокую надежность и минимально травмирующий семена масличных культур. Размеры ячеек, их шаг, угол наклона отрагательной поверхности и диаметр шариков были подобраны эмпирическим путем с использованием вышеописанного стенда. Опыты показали, что наилучшее качество очистки решёт обеспечивает отрагатель, изготовленный из сетчатой решетки с шагом прутков 25 мм (размер ячеек 12,5 × 25 мм). В качестве очистительных элементов наиболее эффективны силиконовые шарики диаметром 30 мм. Конструктивные элементы решетного стана приведены на рисунке 5.

Рисунок 5 – Конструкция решетного стана: 1 – лоток крупных отходов, 2 – подвесы решетного стана; 3 – бункер-питатель; 4 – верхнее решетное полотно; 5 – нижнее решетное полотно; 6 – защитная сетка; 7 – секция шариковой очистки решет, 8 – лоток схода семян в пневмосепаратор

Нижняя часть рамы сепаратора изготовлена из толстостенных профильных труб, что позволяет существенно снизить вибрации, возникающие при работе решетного стана. Рама установлена на колесах, придавая мобильность агрегату. Решетный стан подвешен на текстолитовых пластинах, которые в разы надежнее фанерных. Решета вставляются в направляющие пазы. Данное конструктивное

решение позволяет оперативно производить замену обоих решет в течение минуты. Конструкция стана максимально приспособлена к самоочищению. В случае сильно засоренного вороха, для принудительной очистки решет можно резко поднять частоту колебаний стана с помощью частотного преобразователя. На рисунке 6 приведены основные узлы макетного образца селекционной семяочистительной машины.

Рисунок 6 – Конструкция макетного образца селекционного сепаратора: 1 – осевой вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – подвесы решетного стана; 4 – верхняя рама; 5 – питающее устройство (фидер); 6 – решетный стан; 7 – шатун; 8 – электромотор кривошипно-шатунного механизма; 9 – частотный преобразователь; 10 – блок пусковых реле; 11 – нижняя рама; 12 – лоток вывода основной фракции; 13 – аспирационный канал; 14 – осадочная камера

Анализ работы питающего устройства выявил некоторые его недостатки, особенно при подработке малосыпучего вороха семян подсолнечника. Повышение уровня вибрации бункера-питателя позволило решить проблему сводообразования вороха на выходе из бункера. Результаты оценки массового распределения семян масличных культур по ширине сортировального решета приведены

в таблице. Данная оценка проводилась на материале с исходной засоренностью 2–6 %, подаче 0,05–0,1 т/ч, в соответствии с методикой, представленной в работе [9]. Как следует из приведенных данных, равномерность распределения семян по ширине решета удовлетворительная.

Таблица

Распределение семян по ширине решета, %

Культура	Номер сектора по ширине решета						Коэффициент вариации
	1	2	3	4	5	6	
Подсолнечник	15,0	16,3	18,1	17,9	17,8	14,9	9,9
Соя	15,8	17,2	17,4	17,3	16,7	15,6	7,4

При разработке конструкции пневмосепарирующей части семяочистительного агрегата требовалось решить следующие вопросы: какие размеры должен иметь аспирационный канал, какая должна быть скорость и равномерность воздушного потока, под каким углом и с какой скоростью должны вбрасываться семена в канал и др. Так, при обосновании параметров аспирационного канала учитывали, что одним из основных факторов, обеспечивающих качественное разделение зернового вороха, является равномерность скоростного поля воздушного потока [3], то есть, степень различия скоростей в определенных точках поперечного и продольного сечений пневмосепарирующего канала. На равномерность воздушного потока оказывает влияние ряд факторов: режим движения потока, тип вентилятора, шероховатость стенок канала, форма его поперечного сечения, наличие дроссельных устройств, условия входа воздуха в пневмосепарирующее устройство и выхода из него, а также способ и равномерность подачи исходного материала.

Следует заметить, что результаты изучения другими исследователями влияния зернового материала на равномерность скоростного поля воздушного потока в пневмосепарирующем канале привели к трем противоположным выводам: а) зерновой материал не влияет на равномер-

ность скоростного поля; б) зерновой материал нарушает равномерность скоростного поля воздушного потока; в) зерновой материал выравнивает скоростное поле потока [4; 5]. Учитывая вышеизложенное и сложность теоретического обоснования параметров системы воздушной аспирации, нами был изготовлен пневмосепарирующий канал длиной 800 мм, с поперечным сечением 80 × 130 мм, который впоследствии претерпел ряд модернизаций с целью повышения эффективности его функционирования. В первую очередь были проведены работы по оптимизации воздушного потока в сепарирующем канале.

Для оценки равномерности воздушного потока по площади сечения канала были построены эпюры скоростного поля. Скорость воздушного потока определяли косвенным методом, путем измерения динамического напора микроманометром ММН-2 с пневмометрической трубкой Пито-Прандтля. Замеры динамических напоров производили в соответствии со стандартной методикой [6]. Сечение аспирационного канала условно разбивалось на несколько равновеликих площадей и в их центрах производили измерения.

Скорость воздуха (м/с) определяли по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2g H_{\text{ск}}}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 H_{\text{ск}}}{1,2}} = 4,04 \sqrt{H_{\text{ск}}},$$

где g – ускорение свободного падения;

$H_{\text{ск}}$ – скоростной или динамический напор, мм вод. ст.;

γ – удельный вес газовой смеси (для стандартных условий обычно принимают равным 1,2 кг/м³ [6]).

Эпюра распределения скорости воздушного потока по площади сечения аспирационного канала первоначальной конструкции изображена на рисунке 7. Как следует из приведенной поверхности отклика, воздушный поток в канале распределен крайне неравномерно, с выра-

женным максимумом в правой части сечения.

Рисунок 7 – Распределение скорости воздушного потока по поперечному сечению аспирационного канала

Коэффициент неравномерности воздушного потока (отношение стандартного отклонения скоростей в каждой исследуемой точке к среднему измеренному значению [7]) был равен 9,3. При этом процесс очистки семенного вороха характеризовался отсутствием стабильности, а в отходы, вместе с легкими и щуплыми семенами, попадало до 17 % семян основной фракции, включая биологически ценные.

Конструктивные усовершенствования, а именно: удлинение пневмопровода, использование раструба в его всасывающей части, позволили получить более равномерное распределение скоростного поля по площади аспирационного канала (рис. 8). При этом коэффициент неравномерности воздушного потока снизился с 9,3 до 4,1. Процесс аспирации стал проходить более стабильно с одновременным увеличением выхода основной фракции. Удлинение канала обеспечило многократный рост экспозиции, то есть времени процесса сепарации при максимальной его интенсивности.

Плавная регулировка скорости воздушного потока в широких пределах позволила обрабатывать на данной машине практически любые семена масличных культур, включая сою, критическая скорость витания которой доходит до 15,5 м/с [2].

Рисунок 8 – Оптимизация воздушного потока в пневмосепарирующем канале

На конечном этапе воздушной сепарации легкие засорители вороха за счет центробежной силы осаживались в циклоне, а остатки мелкодисперсной пыли попадали в тканевый фильтр, что позволяло устанавливать машину внутри закрытых камеральных помещений.

Выводы. В рамках статьи не приводятся результаты испытания данного лабораторного сепаратора в соответствии со стандартом СТО АИСТ [8]. Отметим только, что заложенный в конструкцию диапазон возможных настроек агрегата позволяет отрегулировать процесс доведения семенного материала до продовольственной кондиции за два прохода, а при несильно засоренном ворохе – до норм, предусмотренных ГОСТ Р 52325-2005 на оригинальные семена. Четырехлетний опыт практически круглогодичной эксплуатации данного лабораторного сепаратора на Армавирской опытной станции доказал высокую надежность и ремонтпригодность его основных узлов и деталей.

В заключение следует отметить, что по сравнению с существующими аналогами предлагаемая нами конструкция обеспечивает следующие преимущества: а) отсутствие скрытых полостей способствует полной очистке сепаратора после каждой партии семенного материала; б) широкий диапазон регулировок делает её универсальной и приспособленной для переработки большинства видов масличных

культур; в) модульная конструкция, позволяет в зависимости от поставленных задач отключать систему воздушной аспирации или изменять тип загрузочного модуля, максимально адаптируя сепаратор к потребностям селекционного процесса; г) применение отечественных комплектующих обуславливает невысокую стоимость агрегата и независимость от импортных комплектующих.

Список литературы

1. Машины для послеуборочной обработки зерна / Б.С. Окнин, И.В. Горбачев, А.А. Терехин, В.М. Соловьев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 238 с.
2. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет и проектирование. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
3. Тиц Э.Л., Анискин В.И. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов. – М.: Машиностроение, 1967. – 447 с.
4. Оробинский В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Воронеж, 2007.
5. Чернышев С.В. Снижение травмирования зерна за счет совершенствования механизации его послеуборочной обработки // Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Воронеж, 2011.
6. ГОСТ 33735-2016 Техника сельскохозяйственная. Машины зерноочистительные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2017. – 53 с.
7. Тарасенко Р.А. Снижение травмирования семян путем совершенствования процесса их послеуборочной обработки // Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Воронеж, 2006.
8. СТО АИСТ 10.2–2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. – 2011. – III. – 48 с.
9. Шафоростов В.Д. Технологии и технические средства для подготовки семян подсолнечника // Автореф. дис. ... д-ра тех. наук. – Краснодар, 1999.

References

1. Mashiny dlya posleuborochnoy obrabotki zerna / B.S. Oknin, I.V. Gorbachev, A.A. Terekhin, V.M. Solov'yev. – M.: Agropromizdat, 1987. – 238 s.
2. Kozhukhovskiy I.E. Zernoochistitel'nyye mashiny. Konstruktsiya, raschet i proyektirovaniye. – M.: Mashinostroyeniye, 1974. – 200 s.
3. Tits E.L., Aniskin V.I. Mashiny dlya posleuborochnoy potochnoy obrabotki semyan. Teoriya i raschet mashin, tekhnologiya i avtomatizatsiya protsessov. – M.: Mashinostroyeniye, 1967. – 447 s.
4. Orobinskiy V.I. Sovershenstvovaniye tekhnologii posleuborochnoy obrabotki semyan fraktsionirovaniyem i tekhnicheskikh sredstv dlya ee realizatsii: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk. – Voronezh, 2007.
5. Chernyshev S.V. Snizheniye travmirovaniya zerna za schet sovershenstvovaniya mekhanizatsii ego posleuborochnoy obrabotki // Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Voronezh, 2011.
6. GOST 33735-2016 Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Mashiny zernoochistitel'nyye. Metody ispytaniy. – M.: Standartinform, 2017. – 53 s.
7. Tarasenko R.A. Snizheniye travmirovaniya semyan putem sovershenstvovaniya protsessa ikh posleuborochnoy obrabotki // Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Voronezh, 2006.
8. STO AIST 10.2–2010 Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Zernoochistitel'nyye mashiny i agregaty, zernoochistitel'no-sushil'nyye komplekсы. – 2011. – III. – 48 s.
9. Shaforostov V.D. Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva dlya podgotovki semyan podsolnechnika // Avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. – Krasnodar, 1999.

Получено: 03.04.2019 Принято: 30.04.2019
Received: 03.04.2019 Accepted: 30.04.2019