

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СЕМЯН СОРНЯКА ОТ СЕМЯН РАПСА

Василий Дуганец

*Подольский государственный аграрно-технический университет
Ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Украина. E-mail: duganec-vasil@rambler.ru*

Vasyl Duganets

*Podolsky State Agricultural and Technical University
St. Shevchenko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine. E-mail: duganec-vasil@rambler.ru*

Аннотация. В статье приведен анализ существующих средств и способов разделения семян, проведенных исследований физико-механических свойств семян рапса и их примесей, конструкций вибрационных, фрикционных семяочистительных машин, теоретических работ, посвященных процессу сепарации. Указаны преимущества и недостатки средств для разделения семян. Приведены результаты некоторых новых механико-технологических свойств семян рапса, а также сорняка (подмаренника цепкого). Определён признак делимости семян рапса и их сорняков – процесс зацепления семян сорняка с ворсистым текстильным материалом.

Приведены результаты теоретических исследований безотрывного движения семян сорняка подмаренника цепкого по рабочему органу предложенного фрикционного сепаратора, а также получена математическая модель движения с отрывом семян рапса от барабана сепаратора, покрытого текстильным материалом.

На основе проведенных комплексных исследований, теоретического обоснования, предложенный механизированный способ разделения двух фракций смеси. Определены теоретические основы работы вибратора-встрягивателя. Представлена математическая модель процесса работы фрикционного сепаратора. Также установлены условия безотрывного перемещения семян подмаренника цепкого по поверхности рабочего органа сепаратора в зону его встрягивания.

После проведения экспериментальных исследований определены рациональные конструктивно-технологические параметры, которые влияют на полноту сепарации. Установлено, что на работоспособность сепаратора влияет скорость движения ленты транспортёра сепаратора, подача смеси и наиболее влияющий фактор сила прижимания смеси к рабочему органу сепаратора.

Результаты экспериментальной проверки показали, что за одно пропускание смеси через фрикционный сепаратор можно получить семена рапса первой репродукции с содержанием семян сорняка подмаренника цепкого в семенах рапса около 160 штук на 1 кг., что допускается агротехническими требованиями. При сепарации исключается использование магнитных порошков, которые применяются в электромагнитных машинах, а также потери се-

мян основной культуры в отходы.

Ключевые слова: сепаратор, рапс, подмаренник, свойства, конструктивно-технологические параметры, очистка.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из важных продовольственных масличных культур в сельскохозяйственном производстве в большинстве стран мира является рапс. Однако уровень механизации производства этой культуры на данный момент не соответствует современным требованиям. Наиболее сложным процессом на весь комплекс производства рапса является уборка и очистка семенного вороха. Технические сложности при очистке семян рапса в значительной мере объясняются вместительностью в смеси семян сорняка подмаренника цепкого.

Семяочистительные машины должны отделять из семян рапса большое количество разнообразных сорняков и остатков, влияющих на недостаточную кондиционность получения семян культурного растения. Рапс, который широко применяется как в пищевой промышленности, так и в технической для использования биотоплива и технических масел, а также для многих других целей, имеет очень большое значение. Рапсовое масло, не уступает подсолнечному. Оно широко применяется также в кондитерской, консервной, мыловаренной, текстильной и лакокрасочной промышленности.

Существует проблема при очистке семенных смесей, где наблюдается недостаточная очистка семян рапса серийными машинами от семян сорняков. При очистке от тяжело отделяемых сорняков, таких как подмаренник цепкий на магнитных машинах наблюдается большое использование магнитного порошка и значительные потери семян основной культуры в отходы, что значительно влияет на экологию.

В связи с этим есть необходимость поиска путей очистки семян на новых рабочих органах, а также исследования технологического процесса очистки.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам существующих способов и средств сепарации, а также изучению физико-механических

свойств семян масличных культур и семян сорняков, которые являются загрязнителями посевов: И.И. Блехман [1], П.М. Василенко [2], П.М. Заика [3], Э.Э. Левендел [4], Р.Ф. Нагаев [5], Д.А. Плисс [6], В.И. Якубович [7], С. Бетхер [8], В.Г. Зейдель [9], В. Клоххауз [10], О. Теприке [11], Р. Юнг [12], Л.Т. Седаш [13], А.А. Кобринский, А.Е. Кобринский [14], И.Д. Харук, В.М. Лукьяненко [15]. Учеными сделан обзор вибрационных семяочистительных машин и фрикционных сепараторов, отмечены основные недостатки и предложены пути их улучшения, а также улучшения качества работы при сепарации семенной смеси.

Установлено, что существующие способы и средства сепарации семян масличных культур, не способны отделить семена сорняка подмаренника цепкого, который является тяжело отделяемым.

Из просмотренных литературных источников известно, что семена рапса несколько отличаются от семян сопутствующих ему сорняков формой, состоянием поверхности и упругостью. Такие свойства, как форма и упругость семян в большей степени изучены, и при этом существуют специальные машины такие, как вибрационные, виброфрикционные, с помощью которых, часть семян сорняков отделяется. Недостатком вибрационных семяочистительных машин, которые используют в технологических линиях для очистки семян масличных культур, является недостаточная производительность, большая металлоемкость и сложность изготовления поверхностей рабочих органов.

Семена рапса и семена сорняка подмаренника цепкого имеют различия по физико-механическим и технологическим свойствам, характеризующие состояние поверхности.

Вследствие этого возникла необходимость поиска новых способов отделения семян сорняка подмаренника цепкого.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной целью данной публикации является повышение эффективности процесса очистки семян масличных культур рапса от сорняка подмаренника цепкого методом разработки новой конструкции сепаратора фрикционного типа и обоснования возможности его работы.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рапс – очень ценная масличная и кормовая культура, особенно современные сорта, содержащие минимальное количество эруковой кислоты, нежелательное для организмов людей и животных.

Семена рапса содержат от 38 до 50% масла, 16-29% белка, 6-7% клетчатки, 24 - 26% безазотистых экстрактивных веществ.

Рапсовое масло имеет широкий спектр применения в народном хозяйстве. Оно высоко ценится как в удовлетворении потребностей в питании, так и в различных отраслях технического направления.

Масло употребляется в натуральном виде в салаты и в кулинарии, является сырьём для изготовления бутербродного масла, маргаринов, майонезов, приправ, кондитерских и других жиров, а также ши-

роко применяется в производстве лаков, красок в металлургической, мыловаренной и текстильной промышленности. При сгорании 1 г рапсового масла выделяется 9,5 тыс. калорий, по сравнению с тем, что при сгорании этого количества белка выделяется 5,5 тыс.; углеводов - 4 тыс.; сала 9,5 тыс.; сливочного масла - 7, 8 тыс. калорий. Это значит, что масло высококалорийное и имеет большую энергетическую отдачу [16-17].

Рапсовое масло полезно для здоровья человека. Содержание триглицеридов, входящих в его состав обладает способностью снижать и регулировать содержание холестерина в крови человека и этим предотвратить сердечно-сосудистые заболевания. По сравнению с другими маслами и жирами животного происхождения рапсовое масло имеет наименьше насыщенных жирных кислот, а также содержит больше линолевой и линоленовой кислот, которые имеют важную роль в жизнедеятельности человеческого организма. Например линолевая кислота является основным компонентом клеточных мембран, линоленовая имеет важное значение в кислородном обмене нервных клеток. В жирах животного происхождения эта кислота является крайне скудной, или вовсе отсутствует [16].

Относительно рапса, как кормовой культуры, то при его переработке с 1 ц семян получают до 41 кг масла и 57 кг жмыха. При урожайности 30 ц / га с 1 га рапса можно получить 1,0 - 1,3 тонн масла и 1,6 - 1,8 тонн шрота, который содержит около 40% белка. В 1 ц шрота содержится в среднем 90 кормовых единиц, коэффициент переваримости органических веществ достигает 71% по сравнению с подсолнечным, которое имеет 56%. Одна тонна рапсового шрота позволяет сбалансировать по белку 8 - 10 тонн зернофуража, повышая при этом содержание переваримого протеина в одной единице с 80 до 110 г [16-17].

Именно потому необходим поиск путей для получения семян рапса в исключительно чистом виде.

В процессе первичной очистки семян рапса после сбора урожая, на воздушно-решетчатых машинах общего назначения отделяется до 50% семян сорняков и примесей. Однако отделить тяжело отделяемые семена сорняков таких как, подмаренник цепкий, жабрий, горчак, горошек мохнатый, практически невозможно. Один из этих сорняков, как подмаренник цепкий, самый злостный и вредоносный, экономический порог вредоносности которого составляет 0,1 растения на 1 м².

Поэтому, необходимо более совершенное изучение вопросов очистки и сортировки семян рапса, а также возможность разделения и определения признаков разделения его от тяжело отделяемых сорняков. А это невозможно сделать без изучения физико-механических свойств семян рапса и сорняков [18, 19, 20].

Основные размерные характеристики семян масличных культур изложены в трудах В.А. Гудима, В.Г. Тихонова [21-22]. Ими приведены данные о состоянии поверхности, формы семян рапса, также определялись коэффициенты трения семян по ре-

зине, фанере, алюминию, оцинкованной и не окрашенной жести. Сведения о физико - механических свойствах тяжело отделяемых сорняков имеют место в трудах [23, 24, 25]. Также в работах Н.Г. Гладкова приведены данные об удельном весе, геометрические размеры, аэродинамические свойства, состояние поверхности и формы семян сорняков подмаренника цепкого, горца березкообразного. Наиболее совершенственно физико-механические свойства семян масличных культур и семян сорняков приведены в работе [26].

Из литературных источников известно, что физико-механические свойства семян масличных культур и их тяжело отделяемые сорняки изучены не полностью, так как во многих трудах они определялись не для нахождения признака их делимости, а авторами исследовались другие цели. Более полностью изучены только размерные характеристики, плотность масличных культур. Известные физико-механические свойства такие как, предельный угол подъема семян по наклонной вибрационной плоскости и коэффициент мгновенного трения при ударе. Форма и состояние поверхности семян масличных культур и их сорняков изучена не полностью. В литературе не найдено таких физико-механических свойств, как взаимосвязь семян рапса и его тяжело отделяемых семян сорняков с различными поверхностями текстильных материалов. В связи с этим, нами было изучено форму, состояние поверхности семян и коэффициент статического трения на фрикционной поверхности текстильных материалов.

Определение коэффициентов трения рапса и семян сорняка подмаренника цепкого необходимое для исследования возможности разделения по свойствам их поверхности, а также для выбора параметров и режима работы фрикционных сепараторов. Поверхность семян культурных растений и сорняков может быть ровной и жесткой, гладкой и ворсистой, плотной и пористой. Качественные семена имеет гладкую округлую поверхность, а не качественно-сморщенную, шёрсткой. Состояние их поверхности также зависит от спелости, влажности и условий прорастания. Состояние поверхности значительно влияет на сопротивление движению семян по разным материалах. Поэтому механико-технологические свойства семян, связанные с состоянием поверхности определяются величиной сил трения между подвижными семенами и поверхностью рабочих органов, которые используются для разделения семенных смесей.

Сила трения исследуемого семян характеризуется зависимостью:

$$0 \leq F \leq F_{\max}, \quad (1)$$

где: F_{\max} – максимальное значение силы трения семян рапса и подмаренника по поверхности образца материала, которая возникает в момент сдвига семян и его движения по наклонной поверхности исследуемого материала с постоянной скоростью.

Возможность компонентов смеси отделяться на рабочих органах фрикционных сепараторов характеризуется коэффициентом внешнего трения.

Статические коэффициенты внешнего трения применяется в сепараторах с неподвижными рабо-

чими органами, или с рабочими, которые движутся постепенно. В основе принципа работы фрикционного сепаратора является постепенное движение рабочего органа. Поэтому для большей достоверности значений коэффициентов трения, используемых в качестве признаков разделения семенной смеси на фрикционном сепараторе, необходимо его определение.

Для определения статического коэффициента внешнего трения использовали лабораторную установку, состоящую из наклонной платформы, основания механизма регулировки углов наклона и градусной шкалы.

Угол наклона платформы можно регулировать в пределах от 15 до 180. Такой диапазон изменения угла наклона платформы выбран из условия, что при исследовании ворсистых текстильных материалов предполагается сцепление семян подмаренника цепкого с поверхностью материала и при увеличении угла наклона платформы установки силы сцепления превратятся в силы зацепления. Образец семян исследуемых растений, который был изготовлен путем наклеивания семян на тонкую картонку площадью 20 мм², размещали на поверхности материала и закрепляли на платформе лабораторной установки. Если при наклоне под углом α к горизонту тело начинает скользить и движется равномерно вниз без ускорения, то угол наклона платформы α равен углу трения φ . В случае если угол наклона платформы становится равным 90⁰, а образец семян не отрывается от материала, который закреплен на платформе, то это явление называется зацеплением семян с поверхностью исследуемого материала. Если при увеличении угла наклона платформы установки наступает момент отрыва образца семян, то этот угол называют углом трения зацепления.

При исследовании углов трения использовали текстильные материалы, а также резина и сталь. Среди текстильных материалов были такие: войлок, Практика 100, Саванна, Фреска, Атлас, Дунай, Идеал, велюр, шерстяное сукно и текстильная основа. Резину и сталь использовали для сравнительной характеристики.

Полученные результаты экспериментальных исследований семян рапса и подмаренника цепкого на трение сцепления приведены на рис. 1,2.

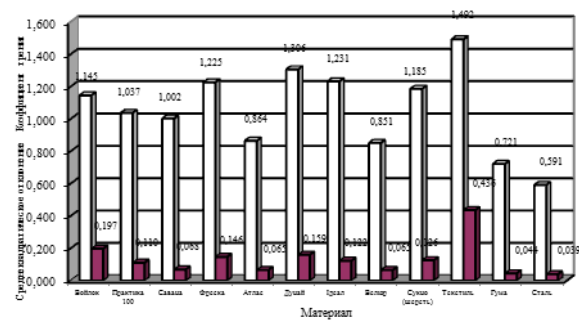


Рис. 1. Коэффициенты трения сцепления семян рапса по разных материалах и их среднеквадратичные отклонения

Fig. 1. The coefficients of static friction of rapeseed for different materials and their standard deviations

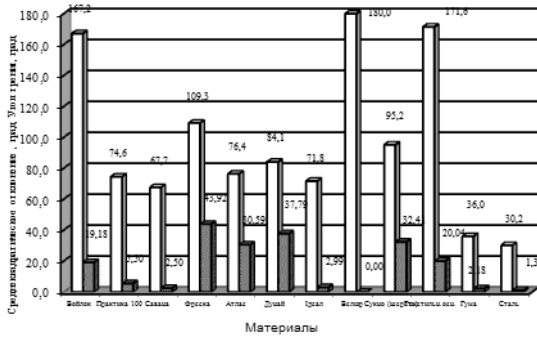


Рис. 2. Угол трения скольжения семян подмаренника цепкого по разным материалам и их среднеквадратические отклонения

Fig. 2. The angle of friction tenacious bedstraw seeds for different materials and their standard deviation

Результаты экспериментальных исследований показали, что среднее значение углов трения семян рапса по разным материалам находится в пределах от $30,6^{\circ}$ (сталь, минимальное значение) до $54,9^{\circ}$ (текстильная основа линолеума, максимальное значение). Среди исследуемых материалов наименьшую изменчивость углов трения семян имеют сталь и резина (среднее отклонение углов трения составляет $1,67$ и $1,72^{\circ}$), а среди текстильных материалов - Саванна, Атлас и велюр (среднее отклонение углов трения составляет соответственно $1,94^{\circ}$, $2,17^{\circ}$, $2,18^{\circ}$). Наибольшую нестабильность углов трения семян имеют материалы: текстильная основа линолеума, войлок и Фреска (среднее отклонение углов трения составляет соответственно $7,25^{\circ}$, $4,80^{\circ}$, $3,50^{\circ}$).

Среднее значение углов трения семян подмаренника цепкого по разным материалам находится в пределах от $30,2^{\circ}$ (сталь, минимальное значение) до 180° (велюр, максимальное значение). Среди исследуемых материалов наименьшую изменчивость углов трения семян имеют велюр, сталь и резина (среднее отклонение углов трения составляет соответственно 00 , $1,30^{\circ}$ и $2,18^{\circ}$).

Наибольшую нестабильность углов трения семян подмаренника цепкого имеют материалы Фреска, Дунай и сукно (шерсть) (среднее отклонение углов трения составляет соответственно $43,92^{\circ}$, $37,79^{\circ}$, $32,41^{\circ}$).

Если угол трения превышает 90° то образец семян не отрывается от поверхности исследуемого материала, это имеет место сцепления семян с ворсистой поверхностью материала. При увеличении угла наклона платформы установки от 90° до 180° наступает или не наступает момент отрыва семян от поверхности исследуемого материала. Он был назван углом трения сцепления.

Выявлено, что среди исследуемых текстильных материалов угол сцепления с семенами подмаренника цепкого больше 90° имеют такие материалы как велюр, текстильная основа линолеума, войлок и Фреска (среднее значение угла сцепления составляет 180° , $171,6^{\circ}$, $167,2^{\circ}$ и $109,3^{\circ}$ соответственно). Так как Фреска имеет наибольшую неравномерность при определении углов трения, то для эксперимен-

тального изучения текстильных материалов целесообразно взять первые три, а именно велюр, текстильную основу линолеума и войлок.

На основе выше изложенного и проведенных исследований возникла необходимость в разработке технологической схемы фрикционного сепаратора для проведения процесса сепарации семян за счет свойств их состояния поверхности.

При разработке новой конструкции сепаратора для работы учитывались нормативные организационные требования такие, как влажность семян, а также возможность семян сорняков подмаренника цепкого сцепляться с поверхностью рабочего органа сепаратора и отцепляться от него в предназначенном для того месте.

Учитывая сложность выполнения и доведение технологического процесса для выполнения этих требований, необходимо было исследование различных текстильных материалов, путем определения силы сцепления и зацепления семени подмаренника с тем текстильным материалом, который будет являться основным рабочим органом сепаратора. Было доведено и использовано за образец рабочего органа материал, так называемый велюр.

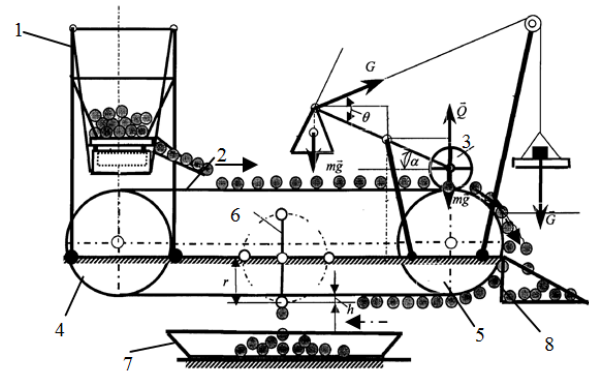


Рис. 3. Технологическая схема работы фрикционного сепаратора: 1 – бункер дозатор; 2 – фрикционный рабочий орган; 3 – прижимной валик; 4 – ведущий барабан; 5 – ведомый барабан; 6 – вибратор-встряхиватель; 7 – лоток для сбора семян сорняков; 8 – лоток для сбора семян рапса

Fig. 3. Technological scheme of the friction separator: 1 – hopper dispenser; 2 – friction working body; 3 – pressure roller; 4 – leading drum; 5 – driven drum; 6 – vibrator-shaker; 7 – tray to collect weed seeds; 8 – tray to collect rapeseed

—→ направление движения семенной смеси
 - · · · → направление движения семян подмаренника цепкого
 - - - → направление движения семян рапса

Работа фрикционного сепаратора происходит следующим образом. Смесь семян и подмаренника цепкого с помощью бункера-дозатора 1 равномерно подается на поверхность фрикционного рабочего органа 2, при этом скорость движения ленты и подача обеспечивают движение семян в один слой. Смесь, пройдя в зоне прижима на ведущем барабане 5, между фрикционной рабочей поверхностью и прижимным валиком 3, попадает в предназначенные

для каждой фракции места. По барабану 5 семена рапса сходят в лоток 8, а семена подмаренника цепкого, сцепившись с поверхностью рабочего органа, доносятся в зону лотка 7 для сбора семян сорняков, где встряхиваются вибратором-встряхивателем 6.

Прижимной валик 3 вращается соответственно направлению движения ленты рабочего органа с помощью силы трения с семенами. Он покрыт тонким слоем поролона для предотвращения скольжения его по монослою и обеспечения равномерного прижима каждого из семян.

Таким образом, предложенная технологическая схема работы сепаратора является нетрадиционной по отношению к серийным машинам, а потому его необходимо отнести к семяочистительным машинам фрикционного типа.

Для рациональной работы сепаратора требуется значительной максимальной подачи и скорости движения фрикционной поверхности, необходимого усилия прижатия валиком монослоя, а также создание необходимых вибраций для встряхивания семян сорняков.

Если рассматривать динамику движения семян по фрикционной поверхности вращающегося барабана рабочего органа сепаратора, то семя будем считать телом, которое имеет сферическую форму. При движении семян по вращающемуся барабане (рис. 4) в безотрывном режиме общий угол поворота радиуса:

$$R = (r_6 + r_c), \quad (2)$$

где: r_6 – радиус барабана, r_c – радиус семени, будет

$$\Theta = \varphi + \theta + \psi, \quad (3)$$

где: φ – угол поворота барабана с прилипшим к фрикционной поверхности семенем, как одного целого в случае отсутствия их качения и проскальзывания; θ – поворот радиуса, соединяющего центр барабана с центром масс семени при его скольжении без качения по поверхности барабана; ψ – угол поворота радиуса R при качении семян по фрикционной поверхности барабана без проскальзывания.

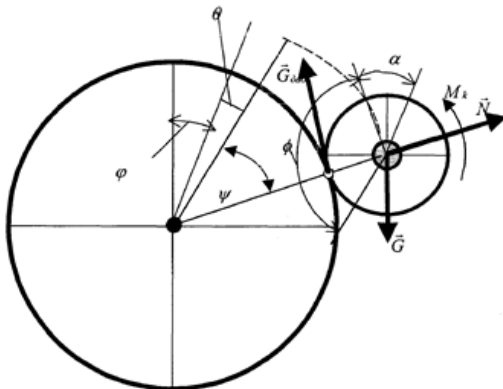


Рис. 4. Динамика движения семени рапса по оборачивающемуся барабану

Fig. 4. Dynamics of rape seed for the drum wraps

Общий угол поворота семени вокруг его центра масс очевидно будет суммой двух углов: угла поворота семени при чистом его качении ϕ и угла пово-

рота от проскальзывания α . Эту сумму двух отмеченных углов обозначим через β , при этом имеем:

$$\beta = \phi + \alpha. \quad (4)$$

На семя во время его движения по барабану действуют такие силы: масса семени \vec{G} , нормальная реакция барабана \vec{N} , сила сухого трения Кулона $\vec{F}_{\text{тер}}$, и пара от силы трения качения с моментом M_k . Для записи дифференциальных уравнений движения семени в безотрывном режиме по фрикционной поверхности барабана рабочего органа сепаратора используем общие теоремы динамики – теорему о движении центра масс к кругу, по которому движется центр масс семени и теорему о смене кинетического момента относительно центра масс. Если обозначить дуговую координату центра масс семени через S_c , то в результате приходим к такой системы трех дифференциальных уравнений.

Тогда имеем:

$$\frac{G}{g} \cdot \left[(r_6 + r_c) \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \varphi + \frac{d^2}{dt^2} \theta + \frac{d^2}{dt^2} \psi \right) \right] = G \cdot \sin(\varphi + \theta + \psi) - F_{mp}, \quad (5)$$

$$\frac{G}{g} \cdot (r_6 + r_c) \cdot \left(\frac{d}{dt} \varphi + \frac{d}{dt} \theta + \frac{d}{dt} \psi \right)^2 = G \cdot \cos(\varphi + \theta + \psi) - N, \quad (6)$$

$$I \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \phi + \frac{d^2}{dt^2} \alpha \right) = F_{mp} \cdot r_c - M_k. \quad (7)$$

где: S_c – дугова координата центра масс семени; r_n , r_c – радиус семени; r_6 – радиус барабана; M_k – момент трения качения семени по фрикционной поверхности барабана; I – момент инерции семян.

Теперь учитываем, что в общем случае движения семян по фрикционной поверхности барабана

$$S_c = (r_6 + r_c) \cdot (\varphi + \theta + \psi), \quad (8)$$

и $\beta = \phi + \alpha$, а также выполнив соотносительное дифференцирование, приведем систему уравнений к такому виду:

$$\frac{G}{g} \cdot \left[(r_6 + r_c) \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \varphi + \frac{d^2}{dt^2} \theta + \frac{d^2}{dt^2} \psi \right) \right] = G \cdot \sin(\varphi + \theta + \psi) - F_{mp}, \quad (9)$$

$$\frac{G}{g} \cdot (r_6 + r_c) \cdot \left(\frac{d}{dt} \varphi + \frac{d}{dt} \theta + \frac{d}{dt} \psi \right)^2 = G \cdot \cos(\varphi + \theta + \psi) - N, \quad (10)$$

$$I \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \phi + \frac{d^2}{dt^2} \alpha \right) = F_{mp} \cdot r_c - M_k. \quad (11)$$

Барабан оборачивается с постоянной угловой скоростью $\frac{d}{dt} \varphi = \omega$. Потому в уравнениях движения семени по фрикционной поверхности барабана с постоянной угловой скоростью $\frac{d^2}{dt^2} \varphi = 0$. При таких

условиях эта система уравнений будет иметь вид:

$$\frac{G}{g} \cdot \left[R \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta + \frac{d^2}{dt^2} \psi \right) \right] = G \cdot \sin(\varphi + \theta + \psi) - F_{mp}, \quad (12)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \left(\omega + \frac{d}{dt} \theta + \frac{d}{dt} \psi \right)^2 = G \cdot \cos(\varphi + \theta + \psi) - N, \quad (13)$$

$$I \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \phi + \frac{d^2}{dt^2} \alpha \right) = F_{mp} \cdot r_c - M_k. \quad (14)$$

Исключая с первого и третьего уравнений силу трения $F_{\text{тер}}$, получим уравнение:

$$\frac{I}{r_c} \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \phi + \frac{d^2}{dt^2} \alpha \right) + \frac{G}{g} R \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta + \frac{d^2}{dt^2} \psi \right) - G \sin(\varphi + \theta + \psi) + \frac{M_k}{r_c} = 0, \quad (14)$$

которое есть общим и учитывает режимы качения и проскальзывания семени, а также те условия, что движение семени происходит по круговой траектории.

Далее рассмотрим первые два уравнения системы, которые подадим в виде:

$$F_{mp} = G \cdot \sin(\varphi + \theta + \psi) - \frac{G}{g} \left[(r_c + r_o) \cdot \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta + \frac{d^2}{dt^2} \psi \right) \right]. \quad (15)$$

$$N = G \cdot \cos(\varphi + \theta + \psi) - \frac{G}{g} (r_o + r_c) \cdot \left(\frac{d}{dt} \omega + \frac{d}{dt} \theta + \frac{d}{dt} \psi \right)^2. \quad (16)$$

Условием безотрывного режима движения семени по фрикционной поверхности барабана будет

$$N = G \cos(\varphi + \theta + \psi) - \frac{G}{g} (r_o + r_c) \cdot \left(\frac{d}{dt} \omega + \frac{d}{dt} \theta + \frac{d}{dt} \psi \right)^2 \leq 0. \quad (17)$$

На основании уравнений движения семени по барабану и законов трения скольжения и качения можно записать условие отсутствия проскальзывания и качения семени по фрикционной поверхности барабана:

$$\begin{aligned} 0 > F_{mp} < F_{mp,max} \\ 0 > M_k < M_{k,max} \end{aligned}$$

Здесь $F_{mp,max}$ и $M_{k,max}$ – относительно максимальные значения силы трения скольжения и момента трения качения, которые выражаются формулами:

$$F_{mp,max} = IN, \quad M_{k,max} = \delta N,$$

то есть данной системе неравности соответствует относительное равновесие семени на фрикционной поверхности барабана.

Исследованиями установлено, что поверхность семян сорняков подмаренника цепкого покрыта множеством острых бугорков.

Наличие таких бугорков на поверхности семян является причиной возникновения сил сцепления между семенами и фрикционной поверхностью, которые резко зависят от величины дополнительной нормальной силы, действующей на семена и вдавливают его в фрикционную поверхность ленты сепаратора в момент вхождения во вращательную зону барабана.

Вращающаяся зона – это угол охвата лентой вращающегося барабана сепаратора, который находится в пределах от нуля до 180 градусов.

Проведенные экспериментальные исследования обусловили необходимость разработки фрикционного сепаратора, основным рабочим органом которого является лента, покрытая текстильным материалом.

Техническая новизна и отличающие особенности машины подтверждены декларационным патентом Украины на изобретение и актами внедрения его в производство.

Предполагается при внедрении в производство данного образца фрикционного сепаратора получить ряд преимуществ по сравнению с серийной электромагнитной машиной К-590А:

- исключение из процесса очистки магнитного порошка,
- исключение потерь семян основной культуры в отходы,
- минимальное потребление электроэнергии,
- простота конструкции.

Разработано документацию и рабочий чертеж с увеличением ширины рабочего органа и других узлов сепаратора, поскольку планируется поставить его в одну линию с К-218 «Петкус-Селектра».

Схема разработанной конструкции приведена на рисунке 5.

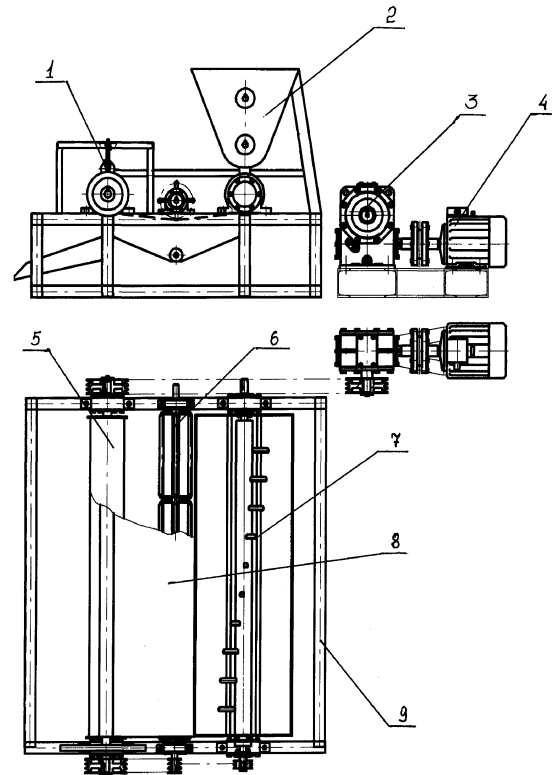


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема фрикционного сепаратора: 1 – прижимной валик; 2 – бункер; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 5 – ведущий барабан; 6 – вибратор-встряиватель; 7 – рыхлитель; 8 – фрикционная поверхность рабочего органа; 9 – рама

Fig. 5. Structural and technological scheme of the friction separator: 1 – pressure roller; 2 – the bunker; 3 – gear; 4 – the electric engine; 5 – drive drum; 6 – vibrator-shaker; 7 – ripper; 8 – friction surface of the working body; 9 – frame

Исследования подтвердили правильность выбора технологической схемы фрикционного сепаратора, который обеспечит качественную очистку семян рапса от семян сорняков подмаренника цепкого, доведя при этом семена рапса до семенных кондиций первой репродукции с содержанием семян подмаренника цепкого до 160 штук на 1 килограмм остаточной массы, соответствующей агротехническим требованиям.

На основе этого были определены рациональные конструктивно-технологические параметры при компоновке машины, которые представлены в таблице 1.

ВЫВОДЫ

Таблица 1. Основные конструктивно-технологические и рациональные параметры при компоновке и изготовлении фрикционного сепаратора

Table 1. The main structural and technological and rational parameters and the layout of manufacturing friction separator

Параметры	Значение параметра
Ширина сепарирующего рабочего органа, м	1,12
Частота вращения ведущего и ведомого барабанов, хв^{-1}	69,0
Линейная скорость сепарирующего рабочего органа, м/с	0,48
Подача смеси, кг/час	220
Сила прижатия валика, Н	1,13
Частота вращения виброударного механизма (вибратора-встряхивателя) мин^{-1}	800
Амплитуда колебаний нижней ветки ленты рабочего сепарирующего органа, мм	10
Габаритные размеры, длина, мм	1915
Ширина, мм	1574
Высота, мм	810
Радиус ведущего и ведомого барабанов, мм	60
Радиус стержней встряхивателя, мм	50
Расстояние между осями ведущего и ведомого барабанов, м	0,5
Объём загружающего бункера, м^3	0,6
Необходимая мощность электродвигателя, кВт	1,2
Частота вращения электродвигателя, хв^{-1}	2840

Все конструктивно-технологические параметры для опытного образца были определены с помощью увеличения, а энергосоотношения по теории подобия.

Пользуясь числовыми и размерными значениями конструктивно-технологических и рациональных параметров машины в табл. 1 можно разработать новую конструкцию фрикционного сепаратора.

С целью дальнейшего применения новых сепарирующих органов, для улучшения процесса отделения семян сорняков подмаренника цепкого от семян рапса, предложено разработать и изготовить семяочистительную машину на основе рабочих чертежей и документации на изготовление. Эта машина выполняла бы следующие операции: подачу с бункера зерновой смеси, транспортировку семян рапса в тару семян основной культуры, отделения и транспортировки семян сорняков подмаренника цепкого в зону работы вибратора-встряхивателя для встряхивания семян сорняков в тару для отходов.

1. Обобщение опыта эксплуатации семяочистительных машин и решение научной задачи заключается в изобретении нового процесса отделения семян сорняков подмаренника цепкого от семян масличных культур (рапса) с исключением применения в машинах магнитного порошка.

2. Анализ существующих конструкций зерноочистительных машин и способов очистки свидетельствует, что отделить семена сорняка подмаренника цепкого от семян рапса полностью невозможно, так как у семян рапса и подмаренника цепкого близкие размерно-весовые характеристики и аэродинамические свойства.

3. Изучены новые механико-технологические свойства компонентов семенных смесей и текстильных материалов, коэффициенты трения скольжения и динамические характеристики сил сцепления, влияющие на процесс разделения смеси за их состоянием поверхности.

4. По результатам исследований разработана конструкция фрикционного сепаратора, рабочим органом которого является лента, покрытая текстильным материалом с ворсистой поверхностью и имеет способность отделять семена сорняка от семян рапса без применения магнитного порошка.

5. Разработана математическая модель, процесса работы сепаратора, а также установлены условия безотрывного перемещения семян подмаренника цепкого по рабочей поверхности в зону его встряхивания.

6. Установлены основные конструктивно-технологические и рациональные параметры при компоновке и изготовлении фрикционного сепаратора.

7. На базе проведенных исследований разработана методика проектирования фрикционных сепараторов для выделения семян сорняков подмаренника цепкого из семян рапса. Проведен расчет технико-экономической эффективности от использования фрикционного сепаратора и полученные значения показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. 1964.** Вибрационное перемещение. – М.: Наука. – 410.
2. **Василенко П.М. 1960.** Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – Киев: Изд-во Акад. с.-х. Наук УССР. – 289.
3. **Заика П.М., Мазнев Г.Е. 1978.** Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. – М.: Колос. – 287.
4. **Лавендел Э.Э. 1971.** Система гипотез в технических расчетах по вибрационному перемещению. // Вопросы динамики и прочности. Рига: Зинатье. Вып. 21. 5-10.
5. **Нагаев Р.Ф. 1978.** Периодические режимы вибрационного перемещения. – М.: Наука. – 168.

6. **Плисс Д.А. 1967.** К теории вибрационной сепарации. // Инж. АН СССР. Ил. журнал. МТТ. – № 4. – 25-31.
7. **Якубович В.И. 1966.** Вибрационное перемещение при колебаниях несущей плоскости по эллиптической траектории // Механизация и автоматизация пр-ва. – № 8. – 18-20.
8. **Bottcher S. 1958.** Beitrag zur Klarung der Gutbewegung auf Schwingrinnen. Forderung und Heben, Heft 3, 4, 5.
9. **Seidel W. 1958.** Die Wurfbewegung von Schuttgut auf der schwingenden Ebene. Bergbautechnik. № 8, 9.
10. **Klockhaus W. 1952.** Fodergeschwindigkeit von Schwingrinnen und Schwindsieben. Erdol und Kohle, № 55.
11. **Temprik O. 1967.** Pohub eastice po plosine Konajici Biharmonicke podelne Kmity. Strojnický casopis, Praha. – 18.
12. **Jung R. 1952.** Die Gleitbewegung auf der schwingenden Ebene. Forschund auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Band. 18, № 1.
13. **Седаш Л.Т. 1972.** Фрикционные сепараторы для очистки и сортирования семян с/х культур, Воронеж, ВГУ. – 124.
14. **Кобринский А.А., Кобринский А.Е. 1981.** Двумерные виброударные системы. – М.: Наука. – 355.
15. **Харук И.Д., Лукьяненко В.М. 1990.** Очистка и сортировка семян рапса на виброфрикционном сепараторе // Обоснование параметров машин для подготовки семенного материала и посева: Сб. науч. тр. / УСХА. – Киев. 81-84.
16. **Гайдаш В.Д. 1998.** Рапс / Под ред. канд. с. х. наук В.Д. Гайдаша. – Ивано-Франковск: Сиверсия ЛТД. – 224. (Украина).
17. **Бардин Я.Б. 2000.** Рапс: от посева к переработки. – К.: Свит. – 105. (Украина).
18. **Бенмеджбер А. 1987.** Физико-механические показатели семян некоторых сортов рапса. – Пищевая технология. – № 6.
19. **Громов М.А. 1987.** Плотность и теплоёмкость семян рапса // Масложировая промышленность. – № 9.
20. **Кожуховский И.Е. 1974.** Зерноочистительные машины. М.: Машиностроение. – 200.
21. **Гудым В.А. 1986.** Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян лекарственных культур на виброфрикционных сепараторах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Харьков. – 22.
22. **Тихонов В.Г. 1975.** Изыскание и исследование молотильного аппарата для обмолота снопов горчицы и других мелкосеменных масличных культур с опытных площадей: Автореф. дис. к.т.н. – Краснодар.
23. **Гирнык М.П., Мырнюк С.К., Анискин В.И. 1970.** Механизация и автоматизация послеуборочной обработки зерна. К.: Урожай. – 190. (Украина).
24. **Гладков Н.Г. 1961.** Зерноочистительные машины. – М.: Машизд. – 368.
25. **Гладков Н.Г. 1959.** Сепарирование семян по свойствам их поверхности. Труды ВИСХОМ.
26. **Курунин П.А., Мамонцев И.П., Шафоростов В.Д. 1985.** Средства механизации для возделывания, уборки и послеуборочной обработки рапса // Отчёт по НИР. ВНИИМК.

RESULTS OF RESEARCHING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF DISTRIBUTION OF WEED SEEDS AND RAPE SEEDS

Summary. The article provides an analysis of existing tools and methods of separation of seeds, conducted research of physical and mechanical properties of rapeseed and impurities designs vibration, friction seed-cleaning machines, theoretical works devoted to the process of separation. These advantages and disadvantages of funds to separate seeds. The results of some of the new mechanical and technological properties of rape seeds and weed (bedstraw cleavers). Definite signs of divisibility of rapeseed and weeds - the process of engagement with weed seeds fleecy textile material.

The results of theoretical research nonseparated movement bedstraw tenacious weed seeds of the working body of the proposed friction separator, and the mathematical model of the motion with a margin of rapeseed from the separator bowl, covered with textile material.

On the basis of comprehensive studies carried out, the theoretical justification offered by the mechanized method of separating a mixture of the two factions. To determine the theoretical basics of the vibrator-shaker. A mathematical model of the process of work of the friction separator. Also set conditions unseparated seeds bedstraw tenacious movement of the surface of the working body of the separator in the area of his shaking.

After conducting experimental studies identified the rational design and technological parameters which affect the completeness of the separation. It was found that the impact on the performance of the separator speed of the conveyor belt separator feed mixture and most contributing factor to the strength of pressing a mixture of the working body of the separator.

The results of experimental verification showed that in one passing the mixture through a friction separator can be obtained rapeseed first reproduction with the content of weed seeds bedstraw tenacious rape seeds about 160 units per 1 kg., That allowed agronomic requirements. When the separation is eliminated the use of magnetic powders that are used in electromagnetic machines and loss of seeds of the main crop waste.

Key words: Separator, rape, cleavers, properties, structural and technological parameters, cleaning.