

На правах рукописи



Волков Виталий Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ДОНЬЯ
ТРАНСПОРТЕРА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в
сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Пухов Евгений Васильевич

Официальные оппоненты: **Алдошин Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева», заведующий кафедрой сельскохозяйственные машины
Серпокрылов Николай Сергеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева» (ФГБОУ ВО "ЧГПУ им. И. Я. Яковлева")

Защита диссертации состоится «21» июня 2022 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



И.А. Юхин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время производство сельскохозяйственной продукции сопровождается потреблением большого количества ресурсов и необходимостью использования дорогостоящей, в том числе импортной техники, что, безусловно, сказывается на рентабельности российских сельскохозяйственных предприятий. Производители сельскохозяйственной техники регулярно совершенствуют технологии проектирования и изготовления машин. Однако, в процессе их эксплуатации при влиянии совокупности природно-климатических факторов зачастую возникают ситуации, которые могут привести к поломке агрегатов машин или снижению эффективности работы. Например, анализ процесса уборки сахарной свеклы, показал, что 20% от общего времени работы комбайна составляют его простои. До 80 % этих простоев, в частности для свеклоуборочного комбайна «Holmer» T2, уходит на очистку донья транспортера от налипания почвенных масс в бункере. На налипание и уплотнение почвенных масс на донье оказывают влияние погодные условия (как правило, осадки в виде дождей), влажность и состав почвы, сахарный сок, выделяемый при повреждении свеклы, а также механическое воздействие скребков транспортера. Поэтому, разработка решений по предотвращению и устранению загрязнений почвенными массами транспортера является перспективным направлением исследований.

Таким образом, разработка технологий и средств, способствующих удалению почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна и повышению его производительности, является актуальной для сельского хозяйства страны.

Степень разработанности темы. Применение теорий адгезии широко известно в различных отраслях науки и техники при исследовании процессов склеивания, пайки, сварки, нанесения покрытий и др. Так, в сельском хозяйстве на основе изучения адгезионных свойств известны различные технологические и технические решения по предотвращению налипания различных веществ на металлические поверхности, представленные в трудах Гайдара С.М., Ерохина М.Н., Агеева Е.В., Дидманидзе О.Н., Завражнова А.И., Аксенова А.В., Лебедева А.Т., Дорохова А. С., Фадеева И.В, Алдошина Н.В., Серпокрылова Н.С. и многих других ученых. Помимо указанного, жидкости используются для раздела двух твердых сред в машиностроении, строительно-дорожной технике, при добыче полезных ископаемых и при решении других задач. Однако, вопросам применения жидкостно-механического удаления почвенных масс с использованием устройства для нанесения жидкости (воды) на донье транспортера свеклоуборочного комбайна уделено недостаточное внимание.

Цель исследования: повышение производительности свеклоуборочных комбайнов, за счет снижения их простоев путём обоснования жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ технологических агрегатов (комбайнов),

обеспечивающих уборку сахарной свеклы, и выявить причины снижения их эффективности в сельском хозяйстве;

2) предложить технологию жидкостно-механического удаления (смачивание поверхности донья бункера свеклоуборочного комбайна с последующим механическим удалением скребками транспортера почвенных масс) и конструктивно-технологическую схему оборудования для ее реализации;

3) разработать математическую модель процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна;

4) выполнить экспериментальные исследования по изучению жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна в лабораторных и производственных условиях;

5) провести технико-экономическое обоснование предложенных технических и технологических решений.

Объект исследования: свеклоуборочный комбайн, выполняющий операции по уборке сахарной свеклы.

Предмет исследования: закономерности изменения показателей эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности (высоты слоя налипших почвенных масс, шероховатости поверхности донья), форсунок (угла распыла жидкости, удельного расхода жидкости) и почвенных масс (влажности, уплотнения и состава).

Научная новизна заключается в:

– методике снижения простоев свеклоуборочных комбайнов, основанной на принципе разделения жидкостью твердых сред (поверхности донья и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом и последующим механическим устранением почвы скребками транспортера;

– моделировании процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна, отличающимся представлением почвенных масс как пластичной и фрагментируемой среды, и позволяющим адаптироваться к различным условиям эксплуатации;

– закономерностях влияния параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс на эффективность процесса удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна.

Теоретическая значимость работы. Заключается в разработке метода повышения производительности эксплуатации свеклоуборочных комбайнов.

Практическая значимость работы. Разработана конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна. Предложено оборудование, включающее емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки и обеспечивающее смачивание поверхности донья транспортера, что способствует дальнейшему устранению почвенных масс с донья скребками транспортера. Определена

последовательность действий по смачиванию поверхности донья в технологическом процессе работы комбайна. Представлены результаты расчета количества подаваемой жидкости и времени удаления почвенных масс. Показана экономическая эффективность от снижения времени простоев свеклоуборочного комбайна за счет уменьшения (вплоть до исключения) трудоемкости работ по выполнению операции (части рабочего процесса функционирования комбайна) ручной очистки поверхности донья бункера от налипших почвенных масс.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач реализовано с применением методов теоретических и экспериментальных исследований. При проведении экспериментальных исследований использованы классические и частные методики с применением современных приборов и вычислительной техники.

Положения, выносимые на защиту:

1) технология жидкостно-механического удаления почвенных масс (основанная на принципе разделения жидкостью твердых сред (поверхности металла и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом) с последующим механическим устранением почвы скребками транспортера, обеспечивающая снижение уплотнения почвенных масс на донье транспортёра;

2) конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс в виде оборудования (включающая емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки) для смачивания поверхности донья транспортера жидкостью (водой), способствующая устранению почвенных масс с донья скребками транспортера;

3) методика моделирования процесса жидкостно-механического удаления с донья транспортера свеклоуборочного комбайна почвенных масс, состоящих из множества элементов и обладающих упруго-вязким вариантом описания механического взаимодействия как друг с другом, так и с движущимся скребком и позволяющая определить закономерности процесса удаления почвенных масс с донья транспортёра свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс;

4) результаты экспериментальной проверки оборудования, обеспечивающего жидкостно-механическое удаление почвенных масс с донья транспортёра и подтверждающие повышение производительности свеклоуборочного комбайна.

Степень достоверности и апробация результатов. Закономерности, полученные в ходе моделирования, подтверждены результатами экспериментальных исследований. Необходимая глубина анализа и достоверность выводов достигается применением общенаучных методов и приёмов. Эмпирическая база исследования включает обработанные данные, полученные в результате проведения экспериментов в лабораторных и производственных условиях.

Результаты диссертационного исследования представлены в докладах на отчетных научных конференциях ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (2018...2021

гг.), международной конференции IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, индексируемой в Scopus и Web of Science.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утверждённой ученым советом ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (номер государственной регистрации № 01.200.1-003986).

Реализация результатов исследований. Результаты исследования внедрены на предприятиях ООО «Агротех-Гарант» Воронежской области, что подтверждено соответствующими актами.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических преобразований, получении и реализации на ЭВМ аналитических зависимостей, разработке технологии и экспериментального оборудования для очистки транспортёра свеклоуборочных машин, проведении экспериментов, формулировке выводов, предложений, рекомендаций, подготовке публикаций по теме диссертации.

Публикации результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано шесть статей, в том числе три статьи – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 121 страницу, из них 88 основного текста и 19 страниц приложений. Работа включает 41 рисунок 2 таблиц и 122 наименования используемых источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ технологий и технических средств обеспечения уборки сахарной свёклы» проведен анализ существующих технологий уборки сахарной свёклы, обзор обеспеченности свеклоуборочной техникой сельского хозяйства России, а также анализ и обзор основных методов и направлений повышения эксплуатационной надежности свеклоуборочных комбайнов.

Проведённый анализ показал, что в России на сегодняшний день преимущественно используется техника зарубежного производства. Технологические процессы, используемые для уборки свёклы, осуществляются в сельском хозяйстве с учетом имеющейся техники. Современные машины способны в круглосуточном режиме осуществлять соответствующие работы. Однако, внешние природно-климатические условия оказывают влияние на эффективное использование суточного рабочего времени комбайна. В основном, это связано с налипанием почвенных масс на рабочие поверхности свеклоуборочного комбайна, так как вместе с корнеплодами сахарной свёклы по комбайну перемещаются

большие количества почвенных масс. Они в процессе перемещения по рабочим органам комбайна смешиваются с сахарным соком, выделяемым свёклой при взаимодействии с рабочими органами комбайна. В результате этого почвенные массы попадают в бункер свеклоуборочного комбайна, и под давлением корнеплодов налипают на донье и донный транспортёр бункера. Во время работы комбайна количество почвенных масс на донье бункера возрастает быстрыми темпами. Чтобы избежать перебоев в работе донного транспортёра свеклоуборочного комбайна, комбайнёру (оператору) приходится очищать поверхность донья от налипших почвенных масс. Увеличивается трудоёмкость ежесменного обслуживания выгрузного конвейера свеклоуборочного комбайна, что приводит к не эффективному использованию техники и, следовательно, к убыткам хозяйства.

Проанализированы работы по очистке и предотвращению налипания почвенных масс таких ученых как: Янин Е.П., Бурлак В.А., Чертес К.Л., Быков Д.Е., Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И., Ягафарова Г.Г., Глазовская М.А., Voopathy R., Walker J.D., Hunt H., Скорняков С.М., Болотов А.Т., Стебут И.А., Докучаев В.В., Измаильский А.А., Советов А.В., Nitsch W., Teipel R., German R., Rid H., Rauche K., Lehne Y., Ermich D., Костычев П.А., Модестов А.П., Прянишников Д.Н., Сидоров М.И., Кулин Е.Н., Инкин Л.А., Витер А.Ф., Гончаров В.П., Бойцов П.Д., Новиков В.М. и др. Однако, остается не решенной задача снижения простоев свеклоуборочной техники, которые возникают вследствие забивания почвенными массами донного выгрузного транспортёра. Отсутствует, обоснование использования жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья бункера свеклоуборочного комбайна.

Во второй главе «Теоретические основы повышения эффективности функционирования свеклоуборочного комбайна с использованием жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортёра» предложено использовать технологию смачивания поверхности донья транспортёра жидкостью (водой). В этом случае интерес представляет исследование процессов взаимодействия почвенных масс с поверхностью донья и их удаления с помощью механического воздействия от скребков транспортера.

Была предложена принципиальная схема устройства для очистки донного транспортёра свеклоуборочного комбайна при помощи распыления жидкости под давлением (рисунок 1, а) на базе свеклоуборочного комбайна «TerraDos» фирмы «Holmer» (рисунок 1, б).

Устройство позволяет после выгрузки свёклы из накопительного бункера во время переезда комбайна от места выгрузки к загонке произвести очистку донного транспортёра от грязевых масс. При использовании рассматриваемого технического средства снижаются затраты времени на технологическое обслуживание уборочного агрегата в течении смены за счет периодического удаления налипших грязевых масс и исключения тем самым длительных простоев комбайна для ручного удаления трудноотделяемого плотного слоя грязевых масс или устранения поломок донного транспортёра и его привода.

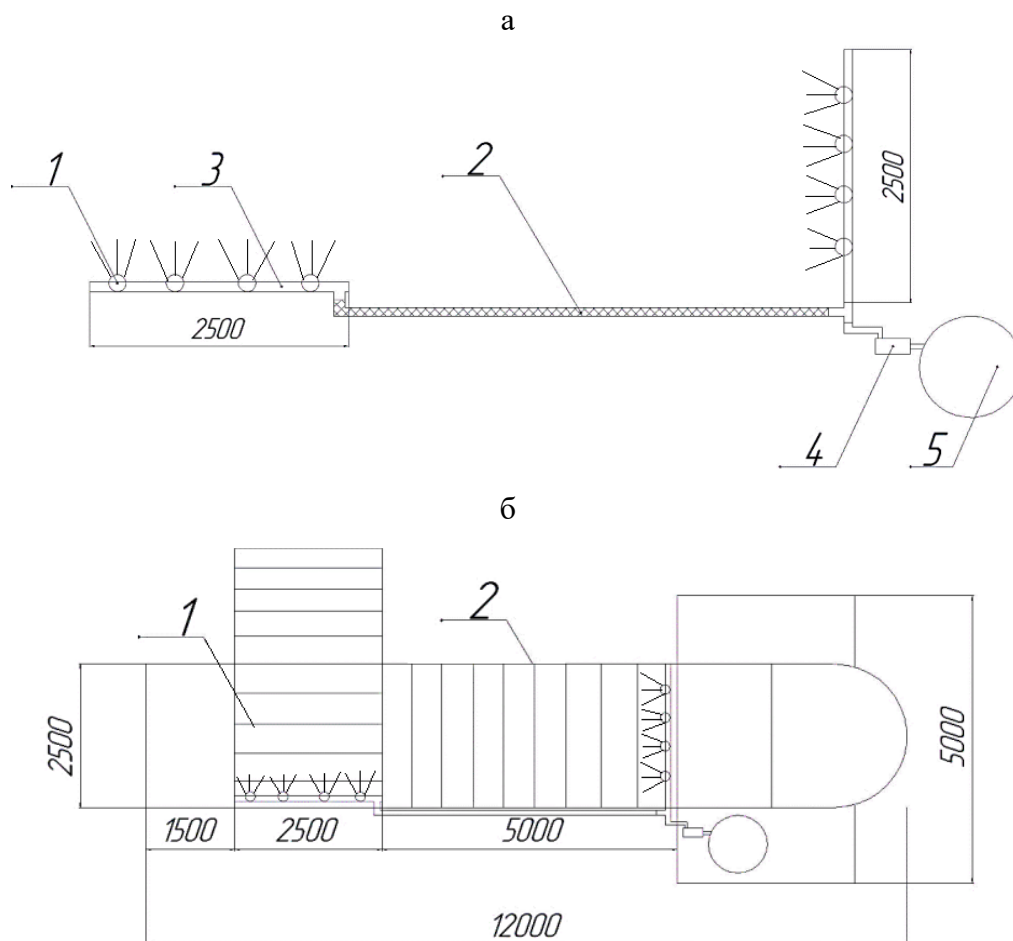


Рисунок 1 – Схема основных элементов устройства для очистки конвейеров:
 а – схема устройства для смачивания донья бункера
 (1 – форсунка-опрыскиватель; 2 – шланг подающий; 3 – водяная рампа; 4 – насос для подачи воды; 5 – бак для хранения запаса воды);
 б – расположение элементов устройства для смачивания донья бункера на комбайне
 (1 – поперечный донный транспортер; 2 – продольный донный транспортер).

Конструкция устройства (рисунок 2, б) для очистки донного транспортёра представляет собой две водные рампы, в которых установлены по 4 форсунки на каждой. Одна рампа рассчитана на очистку продольного транспортёра, вторая на смачивание поперечного транспортёра. Рампы соединены между собой резиновым шлангом параллельно, и подсоединены, при помощи того же шланга, к полиэтиленовому баку с запасом воды на 200 литров. Бак с водой расположен с правой стороны кабины на помосте. Бак с водой никоим образом не мешает своим расположением эксплуатации и техническому обслуживанию комбайна. В баке с водой расположен подающий насос, который питается от бортовой электросети комбайна.

В главе приведена математическая модель процесса жидкостно-механической очистки транспортёра, построенная на основе классической механики. При моделировании учитывается, что между соседними элементами почвы могут возникать силы отталкивания (при внедрении элементов друг в друга), или притяжения (при отдалении сцепленных элементов друг от друга) (рисунок 3).

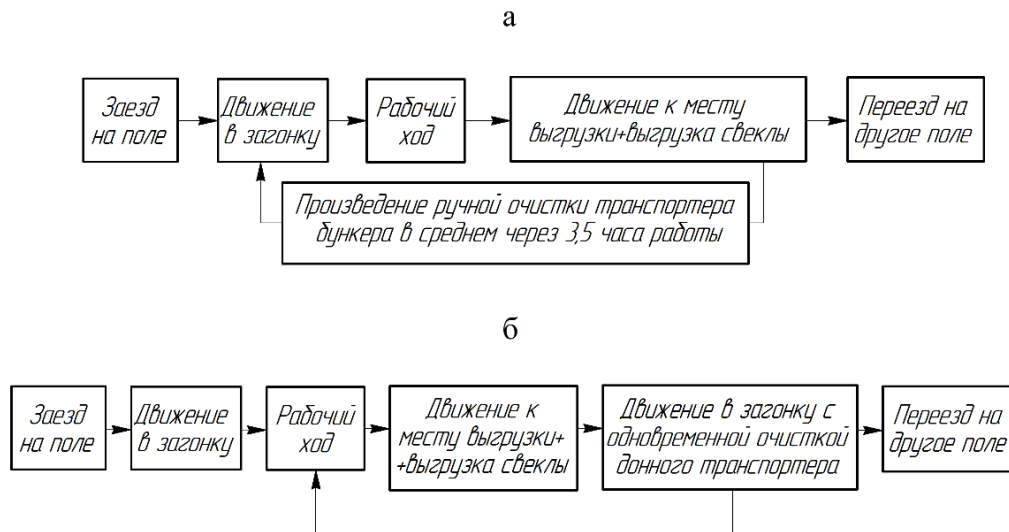


Рисунок 2 – Схема основных операций технологического процесса работы свеклоуборочного комбайна:

а – без дополнительного смачивания поверхности донья бункера комбайна;
 б – с дополнительным смачиванием поверхности донья бункера комбайна.

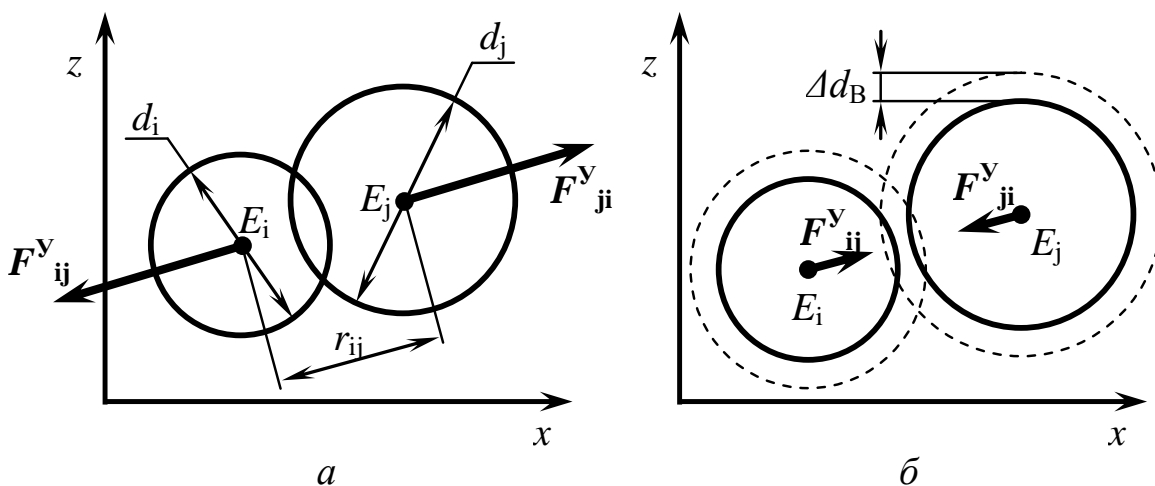


Рисунок 3 – Силы упругого взаимодействия элементов почвенных масс при контакте: а – силы отталкивания при внедрении элементов друг в друга; б – силы притяжения при удалении элементов друг от друга

Уравнения движения элементов составляются на основе второго закона Ньютона (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left\{ \begin{array}{l} c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{ij} \left(r_{ij} - \frac{d_i + d_j}{2} \right) (v_{xi} - v_{xj}), \quad r_{ij} < \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \\ 0, \quad r_{ij} \geq \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \end{array} \right. \\ \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -m_i g + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left\{ \begin{array}{l} c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{ij} \left(r_{ij} - \frac{d_i + d_j}{2} \right) (v_{zi} - v_{zj}), \quad r_{ij} < \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \\ 0, \quad r_{ij} \geq \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1)$$

где i – номер элемента; m_i и d_i – масса и диаметр i -го элемента; x_i , z_i – декартовы координаты элемента; t – время; N_3 – количество элементов; j – номер элемента, возможно

контактирующего с i -м элементом; c_{ij} и d_{ij} – коэффициенты жесткости и вязкости взаимодействия элементов i и j ; r_{ij} – расстояние между центрами элементов i и j ; v_{xi}, v_{zi} – декартовы составляющие скорости i -го элемента; d_B – расстояние ограничения взаимодействия между элементами; g – ускорение свободного падения.

Расстояние r_{ij} между центрами элементов рассчитывается через координаты центров по теореме Пифагора:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Уравнения (1) представляют собой дифференциальные уравнения второго порядка и решаются в процессе моделирования численным методом – методом Рунге-Кутты второго порядка (2):

$$x_i^{\tau+1} = x_i^{\tau} + v_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{xi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{xi}^{\tau+1} = v_{xi}^{\tau} + a_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t; \quad (2)$$

$$z_i^{\tau+1} = z_i^{\tau} + v_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{zi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{zi}^{\tau+1} = v_{zi}^{\tau} + a_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t,$$

где i – номер элемента, τ и $\tau+1$ – индексы текущего и следующего временного шага; Δt – шаг интегрирования по времени; x_i, v_i, a_i – координата, скорость, ускорение элемента.

Создание слоя почвенных масс в модели производится следующим образом. В зависимости от заданной толщины слоя почвенных масс h определяется количество элементов, которое необходимо поместить в модельное пространство:

$$N_{II} = \frac{S_C}{k_{yn} S_{\text{Э}}} = \frac{4L_x h}{k_{yn} \pi D_{\text{Э}}^2}, \quad (3)$$

где S_C и $S_{\text{Э}}$ – площадь слоя (в двухмерной модели рассматривается не объем почвенных масс, а площадь) и отдельного элемента; k_{yn} – коэффициент упаковки элементов с учетом пористости слоя (составляет около 1,4); L_x – длина модельного пространства; $D_{\text{Э}}$ – диаметр элемента.

Для первоначального образования слоя почвенных масс элементы сначала размещаются по всей области моделирования случайным образом по равномерному закону распределения и выдерживаются 1 с модельного времени под действием сил тяжести. Элементы оседают в нижнюю часть области моделирования, образуя случайную плотную упаковку, и приходят в стабильное механическое состояние. После этого начинается моделирование основного процесса: движения скребок по слою почвенных масс.

Предложенная модель реализована в виде программы для ЭВМ. На рисунке 4 представлен вид почвенных масс, частиц воды и скребка донного транспортёра бункера, представленный в программе, реализующей разработанную математическую модель.

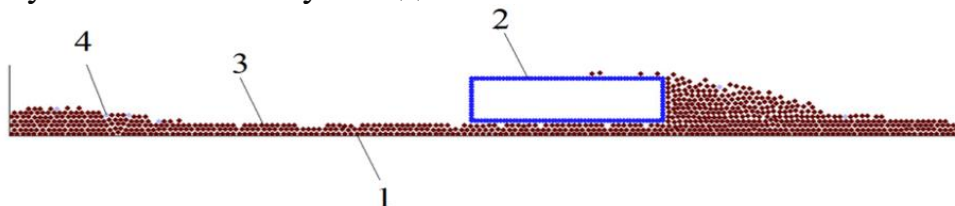


Рисунок 4 – Представление в модели почвенных масс, скребка донного транспортёра и дна бункера: 1 - донье бункера; 2 - скребок донного транспортёра; 3 - элементы почвенных масс; 4 - Элементы наносимой жидкости (воды).

В основе алгоритма, реализованного в программе, лежит цикл численного интегрирования, на каждом шаге которого: вычисляются силы, действующие на элементы; рассчитывается новое положение элементов и очищающей полосы; рассчитываются показатели скорости и качества очистки. Указанные значения фиксируются в виде цифровых значений для дальнейшей обработки.

Разработанная математическая модель даёт возможность проведения моделирования очистки дна бункера. Модель позволяет задавать различные данные по особенностям почвенных условий, типу взаимодействующих поверхностей. Это позволит определить основные параметры очистки (время прохода одного скребка, высоту слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости).

В третьей главе «Программа и методика проведения экспериментальных исследований процесса удаления почвенных масс с донья бункера свеклоуборочного комбайна» разработана методика проведения экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

Для исследования показателей эффективности процесса удаления почвенных масс с донья свеклоуборочного комбайна предложено учитывать параметры очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс. Входные параметры условно разделены на три группы.

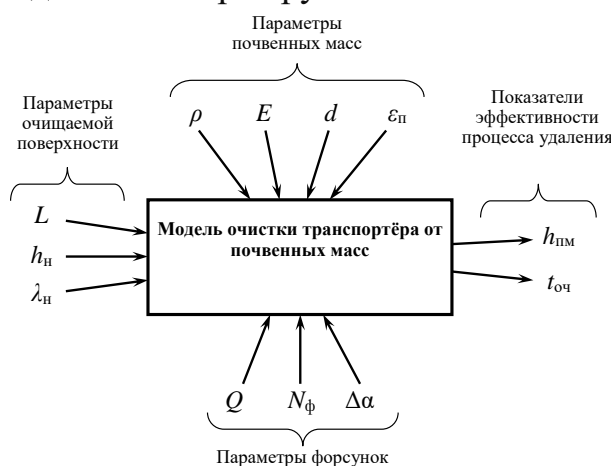


Рисунок 5 – Входные параметры и выходные характеристики разработанной математической модели процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

Первая группа представляет собой параметры почвенных масс: ρ – плотность почвенных масс; E – модуль упругости почвенных масс; d – коэффициент внутреннего трения почвенных масс; $\varepsilon_{п}$ – предел деформации почвенных масс при испытании на растяжение.

Ко второй группе относятся параметры очищаемой поверхности: L – длина поверхности; $h_{н}$ – средняя высота неровностей поверхности (шероховатость); $\lambda_{н}$ – количество углублений в поверхности на единице длины (линейная плотность углублений).

К третьей группе входных переменных относятся параметры форсунок: Q – расход воды; $N_{ф}$ – количество форсунок; $\Delta\alpha$ – угловой диапазон разбрызгивания форсунки.

Показатели эффективности процесса очистки: $h_{\text{пм}}$ – толщина слоя почвенных масс, оставшегося после очистки; $t_{\text{оч}}$ – время очистки (полной очистки или очистки до заданной толщины слоя почвенных масс).

В начале каждого компьютерного эксперимента скребок донного транспортёра помещался на слой почвенных масс и через некоторое время его положение по высоте стабилизировалось в результате баланса силы тяжести и сил отталкивания от почвенных масс (рисунок 6, $t = 0,7$ с). При этом, с начального момента времени компьютерного эксперимента скребок совершал движение в горизонтальном направлении с постоянной скоростью.

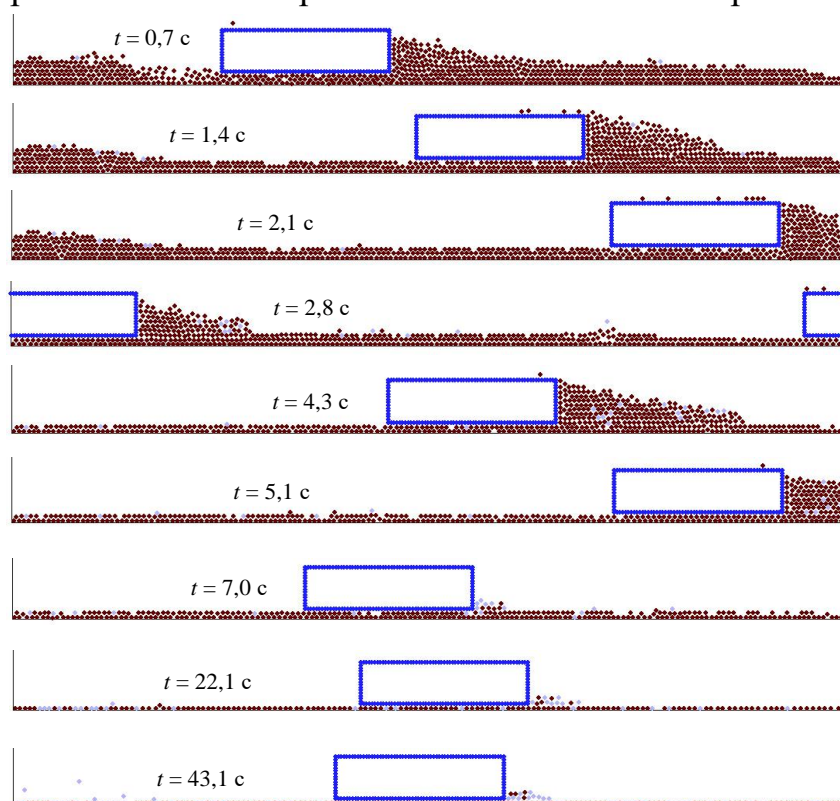


Рисунок 6 – Визуализированная демонстрация на ЭВМ процесса изменения толщины слоя почвенных масс по мере движения скребков донного транспортёра в процессе их удаления

Для создания близких к естественным условиям функционирования машин предлагается использование установки подобной реальному бункеру комбайна. Также, для исследований использованы почвенные массы в том же составе, что и в реальных условиях работы. Для оценки параметров очистки предусмотрена фиксация времени очистки донья транспортера и расхода жидкости (воды). Для исследования процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна, использовали установку, представленную на рисунке 7.

Установка была спроектирована и изготовлена на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ для проведения лабораторных экспериментальных исследований. Представляет собой макет донья бункера 1 свеклоуборочного комбайна с располагающимся на нем транспортёром. Транспортёр состоит из двух шаговых цепей 3 и 7, вращающихся на шестернях, закрепленных между собой на валах. Между цепями закреплены транспортёрные скребки 2, которые в свою очередь

прилегают к донью бункера 1 под собственным весом. Для вращения транспортёра установлен мотор-редуктор 6 на один вал между шестернями 4. Мотор-редуктор был подобран исходя из количества оборотов в минуту реального транспортёра свеклоуборочного комбайна. Мотор-редуктор приводится во вращение при помощи электросети напряжением 12 вольт.



Рисунок 7 – Экспериментальная лабораторная установка для исследования процесса очистки донья транспортёра свеклоуборочных машин от почвенных масс:

1 – донье бункера; 2 – скребок; 3 – цепь приводная; 4 – шестерня привода цепи;
5 – рама силовая; 6 – мотор-редуктор.

Разработанная установка позволяет проводить исследования различных технологий удаления почвенных масс с донного транспортёра свеклоуборочного комбайна и определять основные параметры очистки (время прохода одного скребка, высоту слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости).

Все измерения проводились экспертным методом. Очистку транспортёра оценивали методом визуального сравнения поверхностей очищенной до эталонного состояния очищаемой поверхности. Время фиксировалось секундомером, расход воды при помощи мерной ёмкости, из которой производился забор воды. Исследования проводились на примере черноземного типа почв.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены основные результаты теоретических и практических экспериментальных исследований.

Определены основные параметры очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна, по результатам которых были построены соответствующие графики. Получены результаты практических экспериментов с использованием лабораторного стенда. Проведено сравнение теоретических и практических результатов лабораторных исследований.

При проведении первоначальных компьютерных исследований были получены зависимости массы удаляемых загрязнений со дна бункера от времени их удаления. Данная зависимость близка к экспоненциальной (рисунок 8). Поэтому, начиная с определенного момента времени дальнейшая очистка является нецелесообразной.

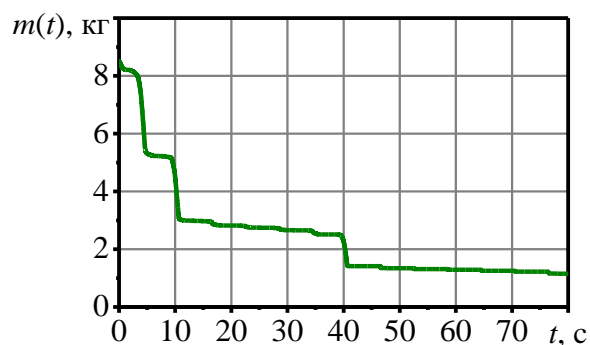


Рисунок 8 – Зависимость изменения массы удаляемой почвы m от времени t удаления с заданной площади донья транспортёра свеклоуборочного комбайна

Показатели плотности почвы в данной модели можно задавать от 1 до 1,7. Так как на одном и том же участке работы свеклоуборочного комбайна плотность налипших почвенных масс на донье бункера может быть разной, в зависимости от погодных условий, было принято решение проводить первоначальный эксперимент при среднем показателе плотности слоя почвенных масс равным 1,3.

Судя по графику на рисунке 8, очистку целесообразно производить до 41 с, так как дальнейшая очистка вплоть до 80 с не приводит к существенному уменьшению загрязнения. В то же время, при продолжительности времени удаления более 100...150 с скребок в модели может удалить и одноэлементный слой загрязнения.

С целью изучения влияния расхода воды Q на показатели эффективности процесса очистки проведена серия из шести компьютерных экспериментов, в которой изменяли Q от 0 до 200 мл/с с шагом 40 мл/с (рисунок 9).

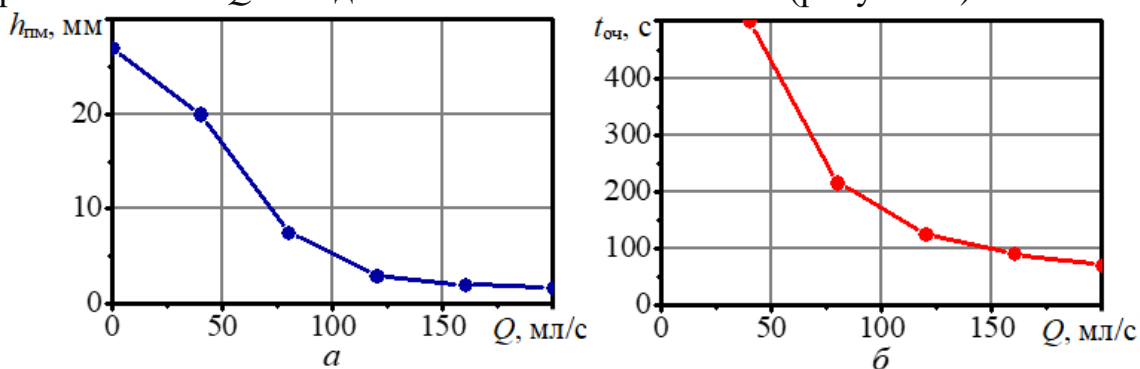


Рисунок 9 – Зависимость влияния расхода воды Q на изменение толщины слоя почвенных масс $h_{пм}$, (а) и на время удаления $t_{оч}$ (б)

С увеличением расхода воды уменьшается высота слоя, оставшегося загрязнения после цикла очистки длительностью 100 с (рисунок 9, а). По форме графика можно сделать вывод, что увеличивать расход воды более 120 мл/с не целесообразно, так как это практически не приводит к снижению толщины слоя оставшихся почвенных масс.

Таким образом, оптимальный расход воды составляет около 120...150 мл/с. При этом толщина почвенных масс уменьшается с 27 до 2...3 мм за время очистки около 100 с.

От угла разбрызгивания форсунок $\Delta\alpha$ зависит равномерность покрытия

жидкостью дна бункера, а также плотность потока жидкости. Так, для форсунок с плоским распылением результаты моделирования позволили заключить, что наилучшая очистка производится при угле разбрызгивания форсунок $40...45^\circ$. В данном диапазоне углов минимальны как остаточный слой почвенных масс (около 2,5 мм) при длительности цикла удаления 100 с (рисунок 10, а), так и время удаления (около 95 с) до заданной толщины (3 мм) (рисунок 10, б).

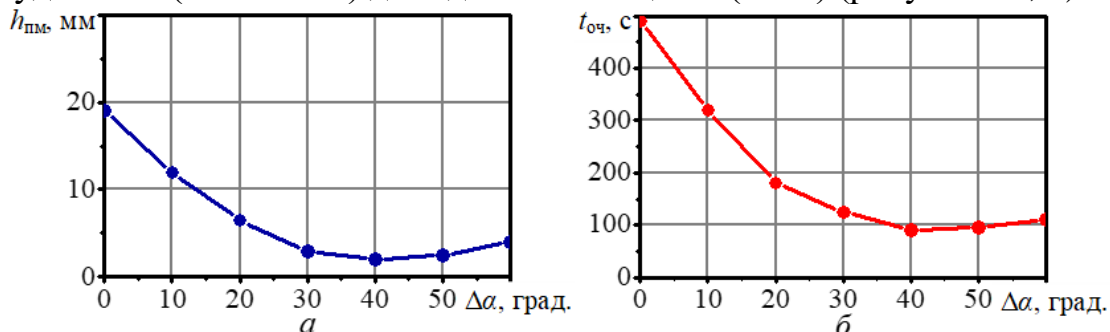


Рисунок 10 – Влияние угла $\Delta\alpha$ разбрызгивания форсунок на толщину слоя почвенных масс $h_{\text{пм}}$ (а) и на время очистки $t_{\text{оч}}$ (б)

Обнаружено, что в исследованном диапазоне высот неровностей поверхности дна бункера предложенный способ удаления остается эффективным. Так, с увеличением неровностей $h_{\text{н}}$ увеличивается толщина остаточного слоя почвенных масс (рисунок 11, а) и время удаления до заданной толщины 3 мм (рисунок 11, б).

В наиболее неблагоприятном из исследованных случаев $h_{\text{н}} = 10$ мм толщина остаточного слоя почвенных масс при длительности цикла очистки 100 с составляет около 7 мм, а время очистки до приемлемой толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 170 с.

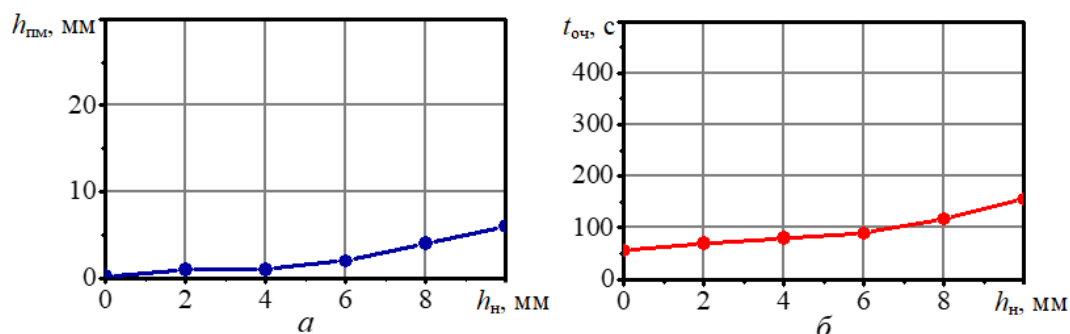


Рисунок 11 – Влияние высоты неровностей $h_{\text{н}}$ поверхности дна бункера на толщину слоя почвенных масс $h_{\text{пм}}$, (а) и на время очистки $t_{\text{оч}}$ (б)

Сложность очистки дна бункера в значительной мере определяется липкостью почвенных масс. Для исследования влияния липкости почвенных масс на эффективность способа очистки дна бункера изменяли коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвенных масс от 1,00 (рассыпчатая почвенная масса) до 1,20 (сильно слипшаяся почвенная масса) с шагом 0,04.

С увеличением коэффициента ограничения взаимодействия (липкости почвенных масс) закономерно снижаются показатели эффективности способа очистки (рисунок 12). Однако даже в случае наиболее липких почвенных масс ($k_{\text{огр}} = 1,20$) показатели эффективности составляют приемлемые значения: толщина слоя почвенных масс при длительности очистки 100 с

составляет около 7,5 мм (рисунок 12, а), время очистки до толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 200 с (рисунок 12, б).

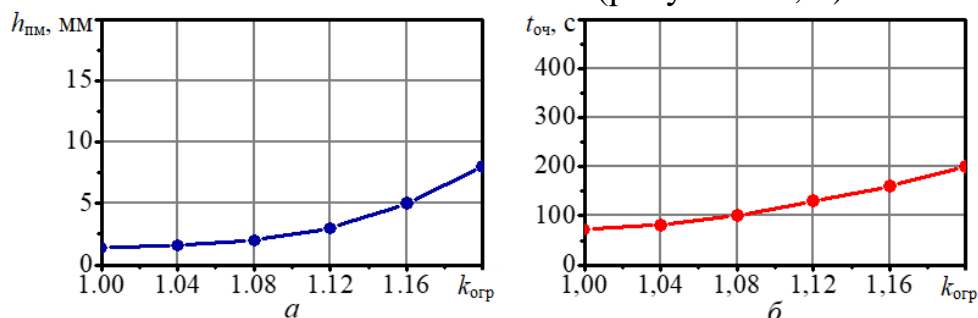


Рисунок 12 – Влияние коэффициента $k_{огр}$ ограничения взаимодействия элементов почвенных масс, задающего липкость, на толщину слоя почвенных масс $h_{пм}$, (а) и на время очистки $t_{оч}$ (б)

Для дальнейшего анализа представлены графики зависимости расхода воды и угла разбрызгивания на толщину оставшихся почвенных масс и время полной очистки. Оба показателя уменьшаются при увеличении расхода воды и угла разбрызгивания (рисунок 13).

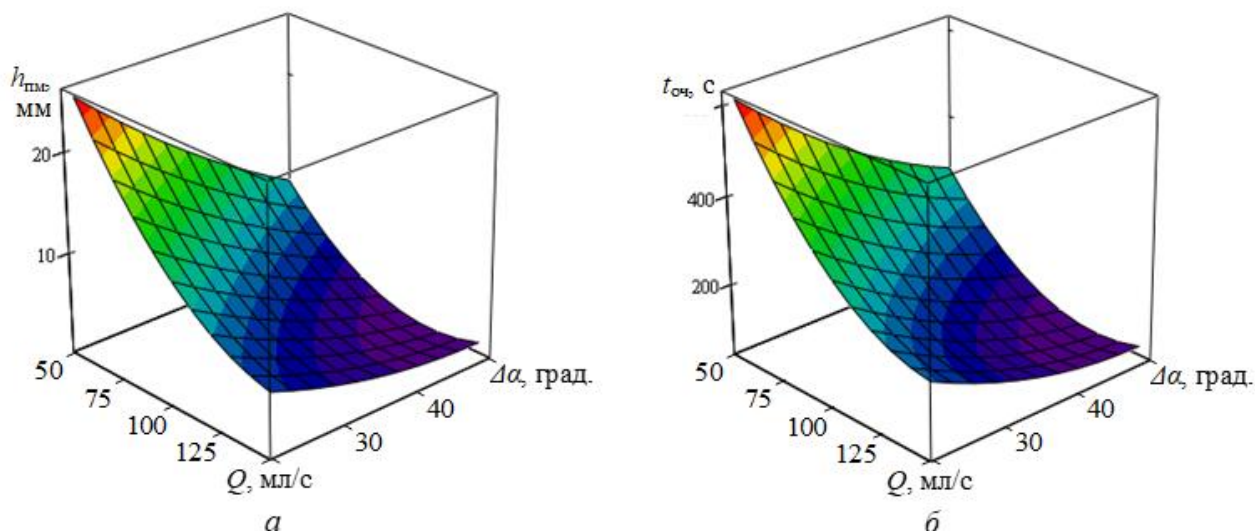


Рисунок 13 – Влияние расхода воды Q и угла разбрызгивания форсунок $\Delta\alpha$ на толщину слоя почвенных масс $h_{пм}$, и на время очистки $t_{оч}$

По расположению общей оптимальной области в факторном пространстве можно сделать следующий вывод. Оптимальный расход жидкости составляет не менее 110 мл/с, оптимальный угол разбрызгивания должен составлять не менее 28° . При этом высота оставшегося слоя почвенных масс после цикла очистки составит не более 5 мм, а время полной очистки не более 100 с.

Для оценки возможности использования предложенной технологии и технического средства для очистки донья транспортеров был проведен ряд исследований жидкостно-механической очистки донья транспортёра бункера свеклоуборочного комбайна. На рисунке 14 представлены результаты очистки донья на предлагаемом стенде с фиксацией в различных временных интервалах без применения жидкости (воды).

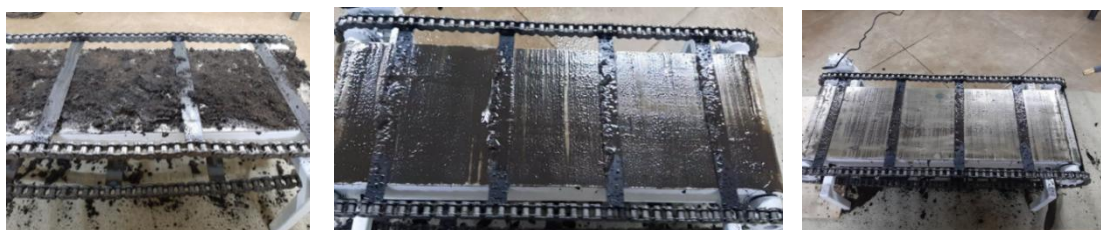


а б в

Рисунок 14 – Результаты очистки донья с фиксацией в различных временных интервалах: без применения жидкости (воды):

а – исходное состояние; б – через 40 с очистки; в – через 100 с очистки

Затем был проведён эксперимент жидкостно-механической очистки. Лабораторная установка была приведена в исходное состояние. Подавая воду на установку первые 40 с был зафиксирован результат фотографией (рисунок 15).



а б в

Рисунок 15 – Результаты очистки донья с фиксацией в различных временных интервалах: с применением жидкости (воды):

а – исходное состояние; б – через 40 с очистки; в – через 100 с очистки.

Эксперимент был доведён до эталонного результата очистки донья спустя 100 секунд. Подача жидкости осуществлялась при помощи форсунки производительностью 6-7 мл/с. Начальная толщина слоя почвенных масс на поверхности донья составляет 10-15 мм. Результаты представлены на рисунке 16.

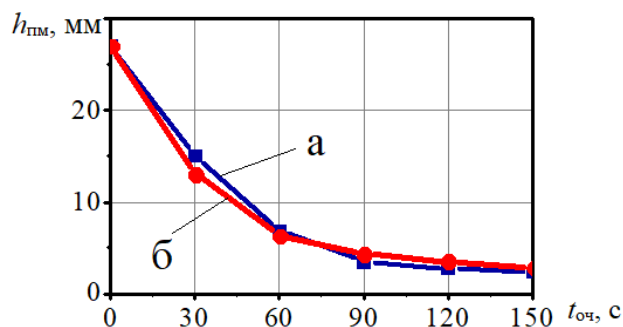


Рисунок 16– Зависимость изменения толщины почвенных масс от времени их жидкостно-механического удаления с поверхности донья в результате проведения экспериментальных исследований: а – в компьютерной модели; б – на лабораторном стенде.

Проведение экспериментальных лабораторных исследований показало достаточно высокую сходимость результатов математического моделирования, с результатами практических исследований.

В пятой главе «Производственная проверка, рекомендации и технико-экономическая оценка предложенных решений» был проведен расчет экономического эффекта от внедрения технологии и оборудования для предварительного смачивания поверхности донья свеклоуборочного комбайна и

последующей жидкостно-механической очистки донья донного транспортёра на предприятии ООО «Агротех-Гарант». Установлено, что применение предложенных решений позволяет сократить время простоев свеклоуборочных машин на ручную очистку донного транспортёра от 2 часов до нескольких минут и предотвратить внеплановый ремонт привода донного транспортёра.

Опытные исследования показали, что экономический эффект на один комбайн за год эксплуатации составил 1 957 228 рублей.

Заключение

1. Анализ современной свеклоуборочной техники показал, что, несмотря на высокий уровень подхода к ее проектированию и изготовлению, в процессе эксплуатации возможно налипание почвенных масс на скребки и донье выгрузного транспортёра в бункере, что вызывает простои техники до 20 % от сменного времени для проведения ручной очистки и восстановления нормального рабочего состояния.

2. Предложена технология жидкостно-механического удаления почвенных масс (основанная на принципе смачивания и разделения жидкостью твердых сред (поверхности металла и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом) с последующим механическим удалением почвы скребками транспортёра, которая обеспечивает снижение налипания и уплотнения почвенных масс. Предложена конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс в виде оборудования, включающего емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки для смачивания поверхности донья транспортёра жидкостью (водой) способствующая дальнейшему выносу почвенных масс с донья скребками транспортёра.

3. Разработанная методика моделирования процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна, отличающаяся представлением почвенных масс как пластичной и фрагментируемой среды, состоящей из множества элементов и обладающих упруго-вязким вариантом механического взаимодействия как друг с другом, так и с движущимся скребком, позволила определить закономерности эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортёра свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс:

–зависимость массы загрязнения дна бункера от времени в процессе удаления близка к экспоненциальной, поэтому, начиная с определенного момента времени дальнейшая очистка является нецелесообразной. Очистку целесообразно производить до 41 с если допустимая толщина остаточного слоя загрязнения около 3 мм, или до 100...150 с если необходимо полностью удалить слой почвенных масс;

–оптимальный расход воды составляет около 120...150 мл/с. При этом толщина почвенных масс уменьшается с 27 до 2...3 мм за время очистки около 100 с;

–оптимальный угол разбрызгивания форсунок составляет 40...45°, что обеспечивает толщину остаточного слоя почвенных масс около 2,5..3,0 мм при длительности цикла очистки 95...100 с.;

–разработанный способ очистки эффективен в широком диапазоне высот

неровностей поверхности дна бункера (от 0 до 10 мм), при этом для наибольших исследованных неровностей 10 мм время очистки до приемлемой толщины слоя почвенных масс (3 мм) составляет около 170 с.;

–в случае существенно липких почвенных масс (коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвенных масс $k_{огр} = 1,20$) показатели эффективности процесса очистки составляют приемлемые значения: толщина слоя почвенных масс при длительности цикла очистки 100 с составляет около 7,5 мм, время очистки до толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 200 с.

4. Экспериментальная проверка показала, что оборудование для смачивания поверхности донья транспортера доступной жидкостью (водой) и последующее устранению почвенных масс с донья скребками транспортера обеспечивает высокую степень удаления почвенных масс, что сходится с результатами теоретических расчётов. Отклонения экспериментальных данных от расчётных не превышают 5%.

5. Результаты экспериментальных исследований в производственных условиях показали, что при соблюдении указанного режима работы данного устройства при круглосуточной работе комбайна (2 смены по 12 ч) сменная производительность возрастает с 0,97 га/ч до 1,36 га/ч. Исходя из этого получено увеличение производительности комбайна на 9,3 га в сутки. При этом суточный экономический эффект на один переоборудованный свеклоуборочный комбайн с учетом стоимости уборки 1 га сахарной свеклы 9,5 тыс. руб., составит 88,4 тыс. руб. Экономический эффект на один комбайн за год эксплуатации составил 1 957 228 рублей.

Рекомендации производству

Полученные результаты могут быть использованы предприятиями, осуществляющими производство сахарной свеклы. Рекомендуется использование предлагаемого оборудования по смачиванию поверхности донья транспортёра жидкостью (водой) после каждой выгрузки бункера свеклоуборочного комбайна, а также на стадии переезда комбайна от места выгрузки к загонке. При этом снижаются затраты времени на технологическое обслуживание уборочного агрегата в течении смены и исключаются длительные простои комбайна.

Расчеты показали, что рациональное использование жидкостно-механического удаления почвенных масс на примере свеклоуборочного комбайна «Холмер» Т2 в условиях Воронежской области возможно при обеспечении подачи насосом жидкости в пределах полученных значений. При этом форсунки должны обеспечивать равномерный распыл по поверхности донья. Рекомендуемый запас жидкости (воды) составляет 200 литров, что достаточно для бесперебойной работы установки в течении смены.

Предложенные технологические и технические решения способствуют предотвращению поломок донного транспортёра свеклоуборочного комбайна и его привода.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Совершенствование конструкций, используемых материалов, технологий и устройств, способствующих удалению почвенных масс с транспортёров.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Волков В.С. Разработка технических средств для исследования процесса очистки донья конвейеров свеклоуборочных машин от почвенных масс / В.С. Волков, Е.В. Пухов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 6. – С. 84–89.

2. Моделирование процессов функционирования транспортных и технологических машин / В.С. Волков, Е.В. Пухов, С.С. Мешкова, В.А. Следченко, В.К. Астанин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – №3. – С. 19-25.

Статьи в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus:

3. Pukhov E. V. Modeling the process of liquid-mechanical cleaning of the bottom dish of the bottom conveyor of a beet harvester / E. V. Pukhov, V. S. Volkov and V. A. Sledchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. – 2021. Vol. 723. – DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032108.

Статьи в научных журналах и сборниках:

4. Волков В.С. Особенности проведения технического обслуживания сельскохозяйственной техники / В.С. Волков, Е.В. Пухов, С.С. Мешкова // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: матер. международной науч. практ. конф. ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2019. – С. 125-128.

5. Волков В.С. Разработка технологии и технического средства для очистки конвейера свеклоуборочных машин / В.С. Волков, Е.В. Пухов, В.А. Следченко // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения: матер. международной науч. практ. конф. ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2017. – С. 252-255.

6. Волков В.С. Разработка методики проведения эксперимента по очистке конвейера свеклоуборочных машин / Волков В.С., Следченко В.А., Пухов Е.В., Мешкова С.С., Казаров К.Р., Коржов С.И. // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: матер. международной науч. практ. конф. ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2017. – С. 118-122.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1505 подписано в печать 20.04.2022 г.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

Отпечатано в издательстве учебной литературы

и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1