

На правах рукописи

Швечихин Дмитрий Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗГРУЗКИ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПУТЕМ АКТИВИЗАЦИИ
ДВИЖЕНИЯ ТРУДНОСЫПУЧИХ ГРУЗОВ**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель – Бедило Петр Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Юхин Иван Александрович
доктор технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Соловьев Евгений Владимирович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис в АПК» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина»

Ведущая организация ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

Защита диссертации состоится _____ на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте <http://www.sgau.ru>.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.061.03.
e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современном сельском хозяйстве производственные процессы связаны с необходимостью погрузки и перемещения большого объема материалов. При выборе транспортных средств необходимо учитывать, что эффективность транспортных операций зависит от степени механизации погрузочно-разгрузочных работ.

В сельском хозяйстве значительный объем грузоперевозок осуществляется с применением самосвальных автомобилей и автотракторных универсальных прицепов. При транспортировании трудносыпучих грузов и грузов с повышенной липкостью происходит неполная разгрузка прицепа за один подъем кузова, так как часть материала налипает на днище кузова, в результате чего увеличивается время цикла и снижается производительность. К наиболее массовым грузам повышенной липкости, перемещаемым в сельскохозяйственном производстве, относятся навоз и грунт.

Серийно выпускаемые универсальные прицепы (ПТ-14С, ПТС-4, ПСТБ-12) и самосвальные кузова («ТОНАР», «САТ») применяют при перевозке грузов, существенно отличающихся друг от друга по физико-механическим свойствам: сыпучих грузов, связных, кусковых и штучных грузов, навоза, органических удобрений, грунта и др.

Применение устройств, активизирующих разгрузку, позволяет повысить производительность и снизить время цикла, затрачиваемое на разгрузку транспортных средств, и, как следствие, уменьшить время простоя при разгрузке.

Разработанные и производимые в настоящее время устройства, активизирующие разгрузку материалов, склонных к налипанию к кузову, не позволяют использовать их в сельскохозяйственных транспортных средствах без применения дополнительных операций. Недостатками серийно выпускаемых прицепов с устройствами активизации разгрузки являются недостаточная эффективность, сложная конструкция, высокая материалоемкость и необходимость применения ручного труда для полной разгрузки трудносыпучих и слипшихся материалов при их перевозке и разгрузке.

Для оптимизации внутрихозяйственных перевозок в первую очередь необходимо добиться снижения времени, затрачиваемого на простой транспортного средства при погрузке и разгрузке. Сокращение времени простоя транспортного средства уменьшает время цикла, затрачиваемое на перевозку, что в конечном итоге увеличивает производительность транспортных операций. Для этого необходимы исследования, которые позволили бы обосновать параметры активизатора разгрузки.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы», а также Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года (п.п. 3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

Степень разработанности темы. Проведён анализ устройств активизации разгрузки прицепов, автомобильных платформ. Данные устройства в ряде случаев не обеспечивают полную выгрузку трудносыпучих и слипшихся грузов из кузова. Имеющиеся исследования не позволяют обосновать процесс отделения частиц груза от днища кузова при разгрузке транспортных средств.

Предлагаемая работа направлена на снижение энергоёмкости при требуемой производительности за счет обоснования параметров устройства для активизации разгрузки прицепов сельскохозяйственного назначения с целью повышения эффективности разгрузки.

Цель работы: повышение производительности разгрузки трудносыпучих сельскохозяйственных грузов из кузова транспортного средства путем применения активизатора скребкового типа.

Задачи исследования:

- на основе анализа существующих исследований получить перспективную конструктивно-технологическую схему самосвального устройства разгрузки;
- теоретически исследовать рабочий процесс выгрузки трудносыпучих и слипшихся материалов из кузова транспортного средства с применением устройства, активизирующего разгрузку, установить аналитические выражения для определения мощности и энергоёмкости, затрачиваемых на осуществление рабочего процесса;
- установить зависимости липкости грунта и навоза, накопленных в кузове транспортного средства от времени их выдержки;
- получить экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели для производительности разгрузки от конструктивных и режимных параметров; установить оптимальные параметры устройства, активизирующего разгрузку;
- провести производственные испытания устройства, активизирующего разгрузку автомобильной платформы, на различных сельскохозяйственных грузах и дать технико-экономическую оценку его работы.

Объект исследований – технологический процесс разгрузки из кузова транспортного средства трудносыпучих материалов, способных налипать к кузову транспортного средства.

Предмет исследований – закономерности изменения времени цикла, производительности, энергоемкости разгрузки трудносыпучих материалов от конструктивных и режимных параметров рабочего органа активизатора разгрузки.

Научная новизна. Предложена новая конструктивно-технологическая схема активизатора разгрузки. Получена математическая модель процесса взаимодействия рабочих органов разработанного активизатора. Получены аналитические и экспериментальные зависимости производительности, мощности, усилия и энергоемкости, затрачиваемых на перемещение рабочего органа. Теоретическими и экспериментальными зависимостями потребляемой мощности и производительности обоснованы конструктивные и режимные параметры предлагаемого активизатора разгрузки, обеспечивающие наибольшую производительность при минимальной энергоемкости.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в обосновании конструктивных и режимных параметров, результаты которых приняты за основу при создании опытного образца активизатора разгрузки и оснащении им кузова транспортного средства. Транспортное средство, оснащенное предлагаемым активизатором разгрузки, применяли при транспортировании трудносыпучих грузов в ООО «Фрегат-2001» Красноармейского района Саратовской области.

Полученные результаты могут быть использованы производителями сельскохозяйственной техники на стадиях разработки и проектирования нового оборудования.

Методы исследования. Методологическую основу исследований составили методы математической статистики, системного анализа и классической механики. В ходе экспериментальных исследований определяли и контролировали физико-механические свойства грузов, исследовали режимные и конструктивные параметры скребка активизатора разгрузки, проводили сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими положениями. Результаты реализации эксперимента обрабатывали при помощи программных продуктов «Maple», предназначенных для обработки статических данных.

Положения выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы активизатора разгрузки;

- аналитические зависимости, описывающие влияние основных конструктивных и режимных параметров на производительность разгрузки, мощность и усилие, затрачиваемые на перемещение рабочего органа, энергоемкость разгрузки;

- результаты обоснования конструктивных и режимных параметров активизатора разгрузки.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность экспериментальных результатов подтверждается необходимым количеством выполненных исследований и высокой степенью их точности, выполнением статистического анализа полученных данных с помощью типовых программных продуктов; теоретические предпосылки основаны на известных положениях, применены современные методики обработки экспериментальных данных, в ходе проведения экспериментальных исследований использованы поверенные измерительные приборы.

Основные положения работы доложены на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы за 2011–2014 гг. Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова; на Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, СГАУ, 2012); на Международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения проф. В.В. Красникова «Новые технологии и технические средства в АПК» (Саратов, СГАУ, 2013).

По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 патент РФ на полезную модель; объем публикаций составил 1,8 печ. л., из которых 0,8 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 103 наименований, из них 7 на иностранном языке и приложений. Основной текст изложен на 121 странице, содержит 10 таблиц и 60 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» рассмотрена технологическая схема процесса транспортирования трудносыпучих сельскохозяйственных грузов, способных налипать к кузову транспортного сред-

ства (рисунок 1), которая включает в себя следующие операции: погрузку, транспортирование и выгрузку. При анализе технологической схемы определено, что для оптимизации внутрихозяйственных перевозок (на небольшие расстояния – до 20 км) необходимо стремиться к снижению времени, затрачиваемого на простой транспортного средства при погрузке и разгрузке.

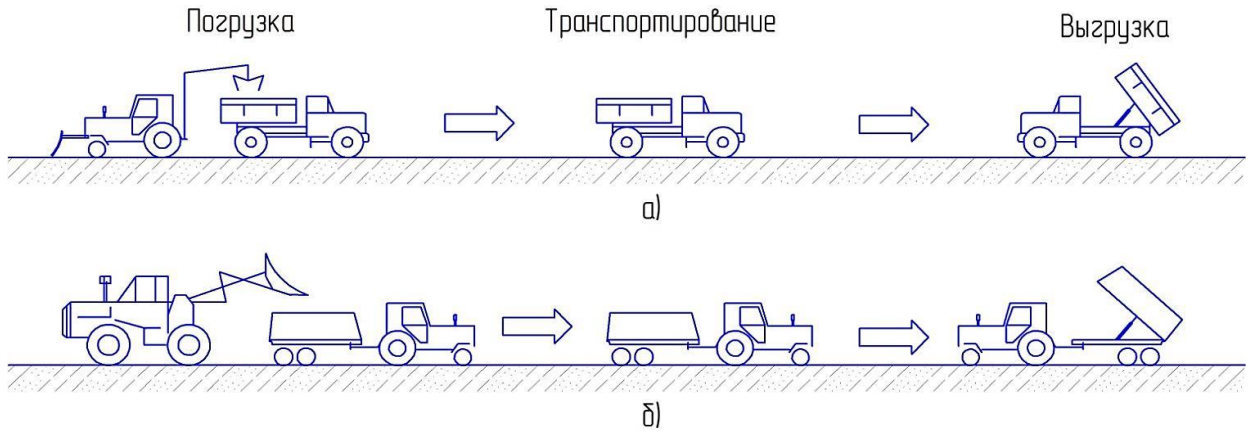


Рисунок 1 – Технологическая схема транспортных операций: а – перевозка автомобилем; б – перевозка трактором с прицепом (тракторно-транспортным агрегатом)

На основании проведенного анализа литературных источников и научных работ, посвященных исследованию процесса разгрузки трудносыпучих и слипшихся грузов из кузова транспортного средства, накопленного опыта, установлено, что транспортирование – одна из основных операций в сельскохозяйственном производстве, а разгрузка – неотъемлемая часть транспортирования, оказывающая влияние на процесс транспортирования в целом. Существующие в настоящее время транспортные средства в ряде случаев не обеспечивают полную разгрузку трудносыпучих и слипшихся грузов из кузова, а приспособления для ее улучшения недостаточно эффективны с сельскохозяйственными материалами, такими как навоз и грунт.

Значительное количество работ посвящено изучению свойств грунтов и навоза, теории резания данных грузов. К ним относятся работы В.П. Горячкина, Г.Н. Синеокова, А.Н. Зеленина, В.И. Баловнева, Ю.А. Ветрова, Е.М. Сергеева, Г.П. Мазурова, Н.А. Цытовича, Г.П. Варламова, Н.М. Марченко, В.Д. Хмырова, Н.В. Павлова, П.И. Павлова, А.И. Ряднова, Е.В. Соловьева и др.

Анализ существующих исследований процесса транспортирования трудносыпучих и слипшихся грузов показывает, что исследований по обоснованию па-

раметров устройств активизации разгрузки недостаточно. В результате процесс транспортирования данных грузов происходит при повышенных затратах и низкой производительности. Создание устройства для активизации разгрузки прицепов сельскохозяйственного назначения, способного обеспечить работу при требуемой производительности и энергоемкости с целью повышения эффективности разгрузки, и обоснование его параметров является актуальной задачей.

Во второй главе «Теоретическое исследование процесса разгрузки трудносыпучих грузов» на основании анализа научных и теоретических исследований представлена разработанная конструктивно-технологическая схема активизатора разгрузки кузова транспортного средства.

Активизатор разгрузки (патент на полезную модель РФ № 147174) работает следующим образом. При разгрузке кузов *1* (рисунок 2) транспортного средства переводится в наклонное положение. При этом часть трудносыпучего груза остается в кузове.

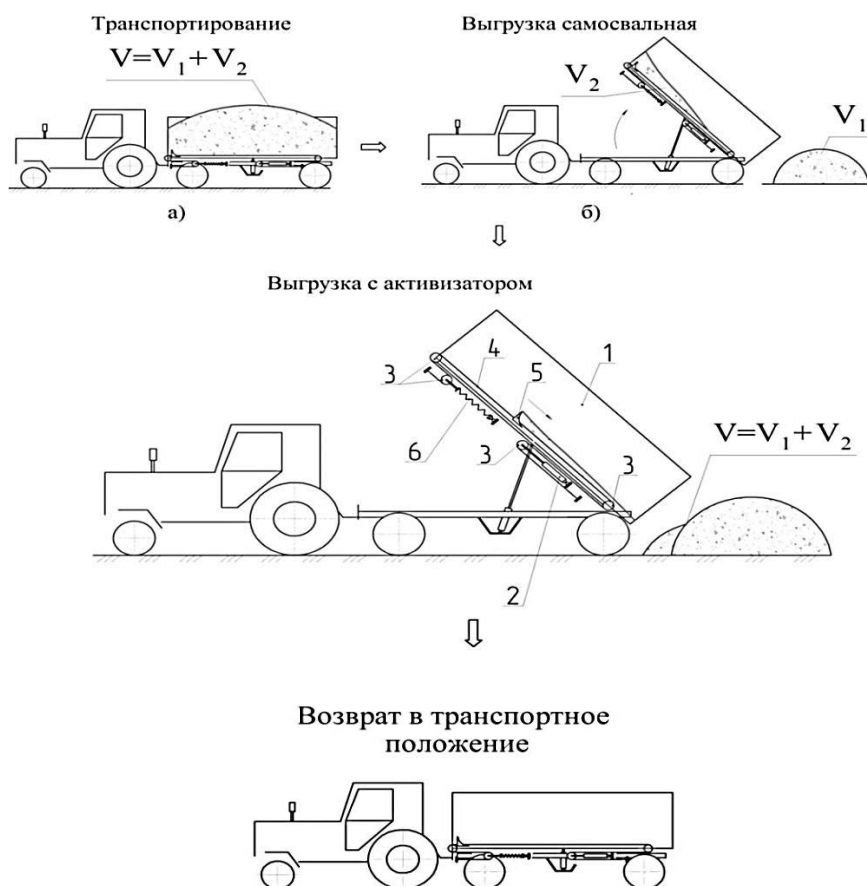


Рисунок 2 – Технологическая схема транспортирования с применением активизатора разгрузки:
 V_1 – объем груза, разгружаемого под действием силы тяжести; V_2 – объем трудносыпучего груза, выгружаемый с применением активизатора

Для полной разгрузки кузова включается активизатор разгрузки. Для этого создается давление в приводных гидроцилиндрах 2, и их штоки начинают выдвигаться. Вместе со штоками гидроцилиндров перемещается подвижная балка с установленными на ней блоками 3. Перемещение блоков приводит к движению рабочих ветвей 4 канатов с закрепленным на них скребком 5. При движении скребка давит на груз, отделяя невыгруженную часть материала от днища кузова, обеспечивая полную разгрузку кузова. По завершении разгрузки кузова давление в гидроцилиндрах постепенно снижается, и за счет натяжения возвратных пружин 6 вся система возвращается в исходное состояние.

Был рассмотрен технологический процесс разгрузки транспортного средства и определены параметры, влияющие на время его цикла.

К конструктивным параметрам скребка активизатора разгрузки относятся: высота скребка h_c , м; угол заострения режущей кромки скребка α , длина скребка L_c , м, и ширина скребка B_c , м (рисунок 3).

При разгрузке кузовов транспортного средства переводится в наклонное положение, образуя с горизонталью угол β . Рассмотрим систему сил, действующих на груз (силы сцепления груза меньше силы тяжести – груз не выгружается):

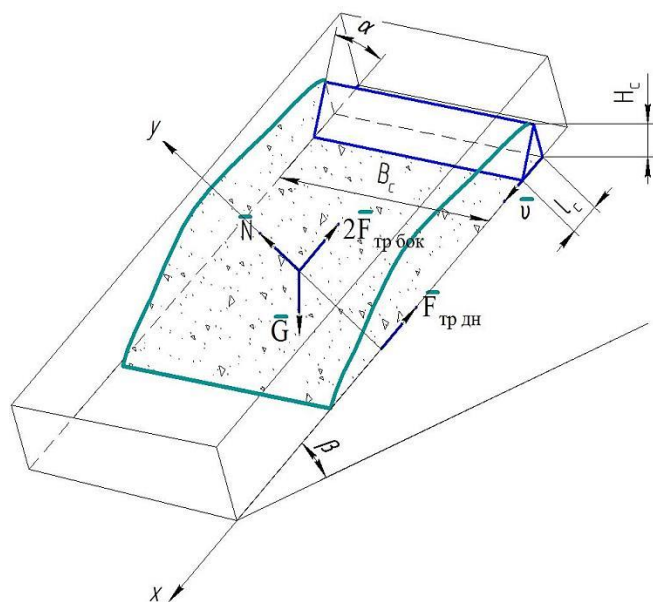


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на груз в кузове

– сила тяжести груза G_G , Н; $G_G = M_G g$, где M_G – суммарная масса материала, находящегося в кузове, кг;

– сила трения груза о дно кузова $F_{тр\ дн}$, Н; $F_{тр\ дн} = N f_{с.гр}$, где N – нормальная реакция опорной поверхности, Н, $f_{с.гр}$ – статический коэффициент трения груза о поверхность дна кузова;

– сила трения груза о борта кузова $F_{тр.бок}$, Н; $F_{тр.бок} = F_d f_{с.гр1}$, где F_d – сила давления груза на борта, Н; $f_{с.гр1}$ – статический коэффициент трения груза о поверхность бортов кузова.

Силы $F_{тр\ дн}$ и $F_{тр\ бок}$ являются силами трения покоя.

В случае если скребок начал свое движение, то к вышеперечисленным силам добавится сила деформации груза скребком $F_{деф}$.

Введем прямоугольную систему координат, направив ось x вдоль дна кузова. До тех пор, пока груз неподвижен, система является уравновешенной, поэтому суммы проекций сил на оси x и y равны нулю.

$$\sum X_i = 0;$$

$$G \sin \beta - F_{\text{тр.дн}} - 2F_{\text{тр.бок}} + F'_{\text{деф}} = 0; \quad (1)$$

$$\sum Y_i = 0;$$

$$N - G \cos \beta + F''_{\text{деф}} = 0. \quad (2)$$

После преобразования получим:

$$M_{\text{г}}g(\sin \beta - \cos \beta f_{\text{с.гр}}) - 2F_{\text{д}}f_{\text{с.гр}1} + F'_{\text{деф}} + F''_{\text{деф}}f_{\text{с.гр}} = 0. \quad (3)$$

На основании выражения (3) условие равновесия системы будет иметь следующий вид:

$$\sin \beta - \cos \beta f_{\text{с.гр}} > \frac{2F_{\text{д}}f_{\text{с.гр}1} - F'_{\text{деф}} - F''_{\text{деф}}f_{\text{с.гр}}}{M_{\text{г}}g}. \quad (4)$$

В случае если скребок неподвижен, и силой его давления можно пренебречь, неравенство (4) примет вид:

$$\sin \beta - \cos \beta f_{\text{с.гр}} > \frac{2F_{\text{д}}f_{\text{с.гр}1}}{M_{\text{г}}g}. \quad (5)$$

Таким образом, при увеличении угла β наклона кузова к горизонту составляющая $M_{\text{г}}g \sin \beta$ будет стремиться сбросить груз вниз. Силы трения $F_{\text{тр.дн}}$ и $F_{\text{тр.бок}}$ будут препятствовать перемещению груза, причем их значения будут возрастать от нуля до определенной критической величины. Когда угол наклона кузова достигает критического значения $\beta_{\text{крит}}$, материал начинает выгружаться из кузова. Значение $\beta_{\text{крит}}$ может быть найдено из неравенства (5). Из неравенства (4) следует, что воздействие скребка на груз способствует уменьшению значения $\beta_{\text{крит}}$.

На частицы груза, соприкасающиеся со скребком, с одной стороны будет воздействовать сам скребок, а с другой – другие частицы груза, оставшегося в кузове. Поэтому они будут совершать сложное движение. На скребок, начинающий свое движение, действуют следующие силы (рисунок 4): $G_{\text{с}}$ – сила тяжести скребка, Н; $F_{\text{с}}^{\text{и}}$ – сила инерции скребка, Н; N – нормальная реакция опорной поверхности, Н; $N = R_{\text{д}} \cos \varphi + F_{\text{е}}^{\text{и}} \sin \alpha + G \cos(\alpha + \beta)$; φ – угол трения груза о поверхность скребка, град.; $F_{\text{тр.с}}$ – сила трения скребка о поверхность кузова автомобиля; R_1 – сила натяжения канатов, перемещающих скребок; $F_{\text{тр}}$ – сила трения скребка о поверхность груза; $F_{\text{л}}$ – сила сопротивления, возникающая вследствие налипания груза к поверхности скребка; $F_{\text{л}} = bl(p_0 + pN)$; $R_{\text{д}}$ – сила сопротивления груза подрезанию и деформации, где ψ – угол сдвига, град.; $R_{\text{д}} = \frac{\sigma_{\text{н}}abk_{\psi}}{\cos \alpha \cos \varphi}$.

В соответствии с принципом Даламбера сумма всех активных и реактивных сил, действующих на скребок, а также силы инерции, условно приложенной к нему, в начале его движения равны нулю:

$$\bar{R}_1 + \bar{N}_1 + \bar{G}_c + \bar{F}_{\text{тр.с}} + \bar{F}_c^u + \bar{F}_l + \bar{F}_{\text{тр}} + \bar{R}_d + \bar{F}_e^u + \bar{F}_r^u + \bar{G} = 0. \quad (6)$$

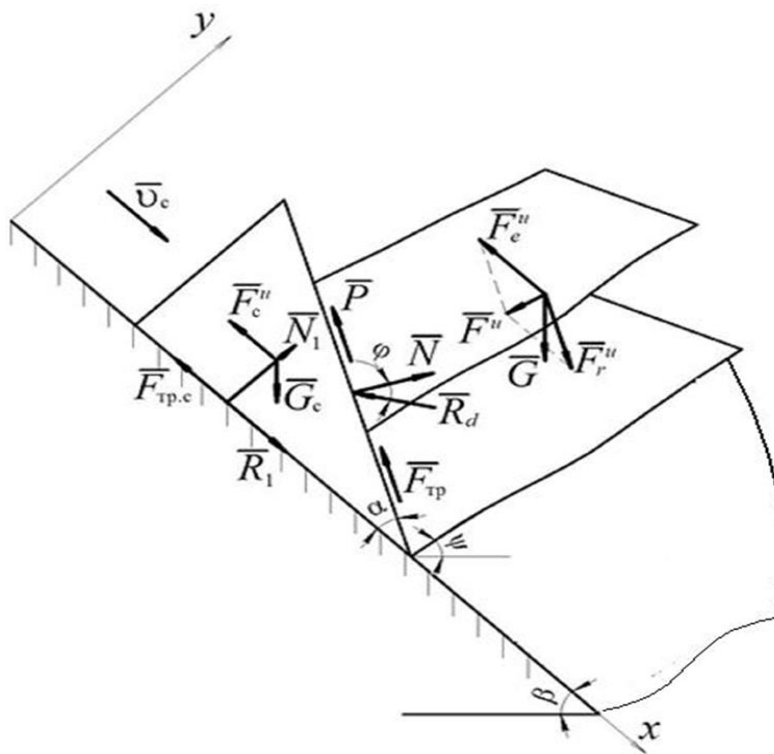


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на скребок

Силу инерции разложим на относительную F_r^u и переносную F_e^u составляющие.

$$F_r^u = \frac{G}{g} \frac{dv_r}{dt}; \quad (7)$$

$$F_e^u = \frac{G}{g} \frac{dv_c}{dt}. \quad (8)$$

Введем прямоугольную систему координат, направив ось x вдоль поверхности кузова автомобиля. После преобразований получим:

на ось x :

$$R_1 = N_1 f_1 + \frac{dv_c}{dt} \left(m_c + \frac{G}{g} \right) - (G_c + G) \sin \beta + N f \cos \alpha + \\ + F_l \cos \alpha + R_d \sin(\alpha + \varphi) - \frac{G}{g} \frac{dv_r}{dt} \cos \alpha.$$

на ось y :

$$N_1 = (G_c + G) \cos \beta - F_l \sin \alpha - N f \sin \alpha + R_d \cos(\alpha + \varphi) + \frac{G}{g} \frac{dv_r}{dt} \sin \alpha.$$

Введем условные обозначения: $f_1 \cos \beta - \sin \beta = A$; $\cos \alpha - f_1 \sin \alpha = B$; $f_1 \cos(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \varphi) + f \cos \alpha (\cos \alpha - f_1 \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi) = D$.

Тогда

$$R_1 = (G_c + G)A + F_d B + R_d D + \frac{G}{g} \frac{dv_c}{dt} \left(\frac{m_c g}{G} + 1 + f \sin \alpha B \right) - \frac{G}{g} \frac{dv_r}{dt} B + G f \cos(\alpha + \beta) B.$$

Для нашего случая относительная $F_r^и$ и переносная $F_e^и$ силы инерции будут возникать постоянно при вступлении частиц груза на рабочую поверхность скребка и действовать в течение короткого периода времени.

$$F_r^и = \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)}, \quad (9)$$

$$F_e^и = \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2. \quad (10)$$

После упрощения получим:

$$R_1' = (G_c + G)A + G f \cos(\alpha + \beta) B + F_d B + R_d D + \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \left[1 + B \left(f \sin \alpha - \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \right) \right]. \quad (11)$$

Уравнение (11) позволяет определить величину усилия R_1' , необходимого для перемещения скребка в период установившейся работы активизатора разгрузки. Первые три слагаемых характеризуют сопротивления перемещению скребка, вызванные трением о поверхность кузова автомобиля и груз, а также адгезией; четвертое слагаемое характеризует процесс деформации и последующего разрушения груза скребком, пятое – динамическое сопротивление груза перемещению, вызванное его инерцией.

На рисунке 5 построен график, характеризующий теоретическую зависимость для скребка высотой $h = 0,05$ м; $h = 0,1$; $h = 0,15$ м; $h = 0,2$ м.

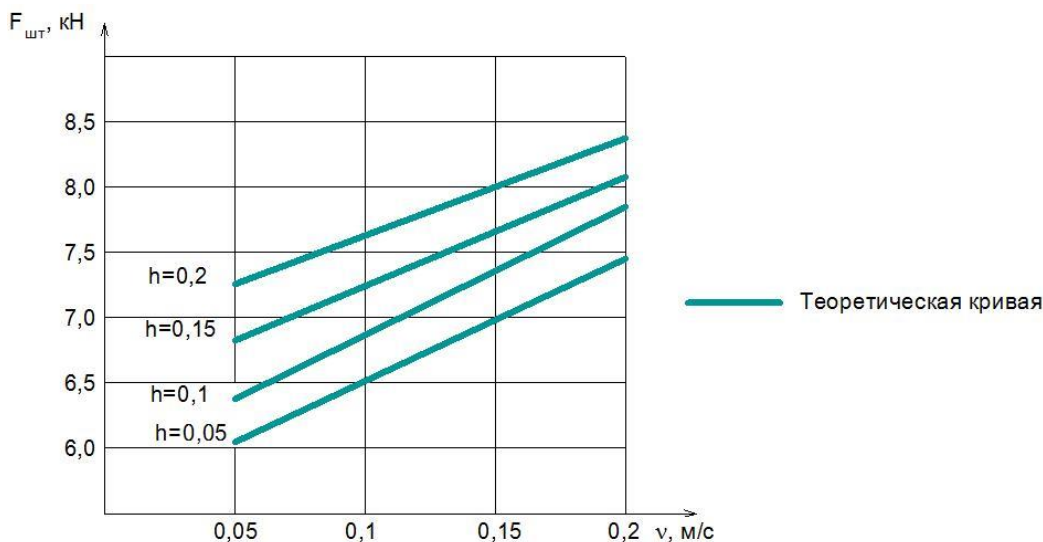


Рисунок 5 – Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра активизатора разгрузки при высоте скребка $h = 0,1$ м от скорости подачи v , м/с

Мощность, необходимую на привод активизатора разгрузки, определяют из выражения $P_{\Pi} = R'_1 v_c$, или

$$P_{\Pi} = \left\{ (G_c + G)A + Gf \cos(\alpha + \beta) B + PB + R_d D + \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \left[1 + B \left(f \sin \alpha - \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \right) \right] \right\} v_c. \quad (12)$$

С учетом выражения (9) можем преобразовать:

$$P_{\Pi} = \left\{ (m_c g + h b l \gamma_r) A + h b l \gamma_r f \cos(\alpha + \beta) B + b l (p_0 + p N) B + \frac{\sigma_n a b k_v}{\cos \alpha \cos \varphi} D + \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \left[1 + B \left(f \sin \alpha - \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \right) \right] \right\} v_c \quad (13)$$

При налипании к поверхности кузова груз оказывает значительное сопротивление перемещению скребка. При этом увеличивается сила сопротивления груза подрезанию и деформации R_d , и нижние элементы сильнее подпирают элементы груза, расположенные выше на рабочей поверхности скребка (рисунок б). При достаточном значении переносной силы инерции груза F_e^u груз не будет опрокинут скребком, а переместится по его поверхности за скребок и остаться в кузове.

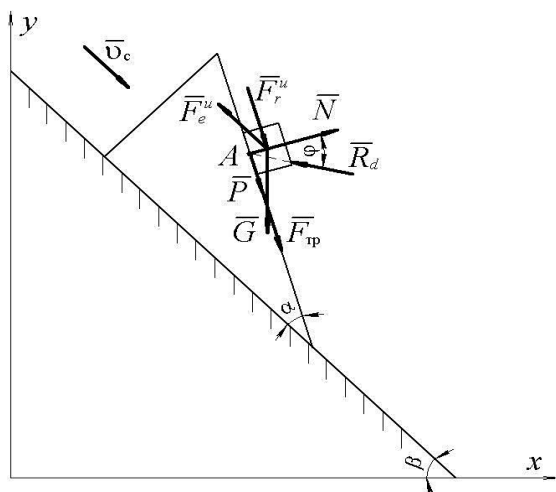


Рисунок б – Схема сил, действующих на элемент груза

Уравнение моментов всех сил, действующих на элемент груза, относительно т/ А:

$$\sum m_A(\bar{F}_i) = 0;$$

$F_e^u h \cos \alpha - F_r^u h - G h \sin(\alpha + \beta) = 0$, где h – расстояние от центра масс элемента груза до точки А, м.

После подстановки значений действующих сил:

$$\frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \cos \alpha < \frac{\gamma_r}{g} h b v_c^2 \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} + h b l \gamma_r \sin(\alpha + \beta).$$

Упростив и преобразовав неравенство, получим:

$$v_c < \sqrt{g l \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha - \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)}}}. \quad (14)$$

Неравенство (14) ограничивает скорость работы активизатора разгрузки и должно учитываться при расчете кинематического режима работы активизатора разгрузки и его производительности. Анализ неравенства (14) показывает, что значение максимально допустимой скорости перемещения скребка увеличивается пропорцио-

нально квадратному корню длины его рабочей поверхности, а также зависит от значений углов α , β и ψ .

Теоретическая производительность разгрузки кузова транспортного средства определяют по выражению

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (15)$$

где Q_1 – производительность разгрузки объема материала V_1 , м³, под действием силы тяжести (самосвальная разгрузка), кг/мин; Q_2 – производительность разгрузки материала V_2 , м³, не выгруженного из кузова кг/мин.

Время цикла разгрузки $t_{ц1}$, с, определяют как время, затрачиваемое на отдельные операции:

$$t_{ц1} = t_1 + t_2 + t_3, \quad (16)$$

где t_1 – время подъема кузова транспортного средства, с; t_2 – время разгрузки объема материала V_1 , м³, под действием силы тяжести (самосвальная разгрузка), с; t_3 – время опускания кузова транспортного средства, с.

При использовании устройства активизации разгрузки сталкивающего типа время разгрузки с применением дополнительных операций t_4 , с, затрачиваемых на очистку кузова от налипающего материала, можно принять:

$$t_4 = \frac{L}{k_v v_c} + t_{и}, \quad (17)$$

где L – длина кузова, м; k_v – коэффициент, учитывающий скорость движения скребка; v_c – скорость перемещения скребка, м/с; $t_{и}$ – время инерции при пуске, с.

Скорость перемещения скребка v_c находится в прямой зависимости от критической скорости $v_{кр}$:

$$v_c = v_{кр} \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)}, \quad (18)$$

где: α – угол резания, град.; ψ – угол, образованный плоскостью сдвига с горизонталью, рад.

Производительность Q_2 , кг/мин, разгрузки объема невыгруженного материала V_2 , м³ (рисунок 7) также может быть определена:

$$Q_2 = k_v v_c HB \quad (19)$$

где HB – площадь сечения поверхности перемещаемого груза, м².

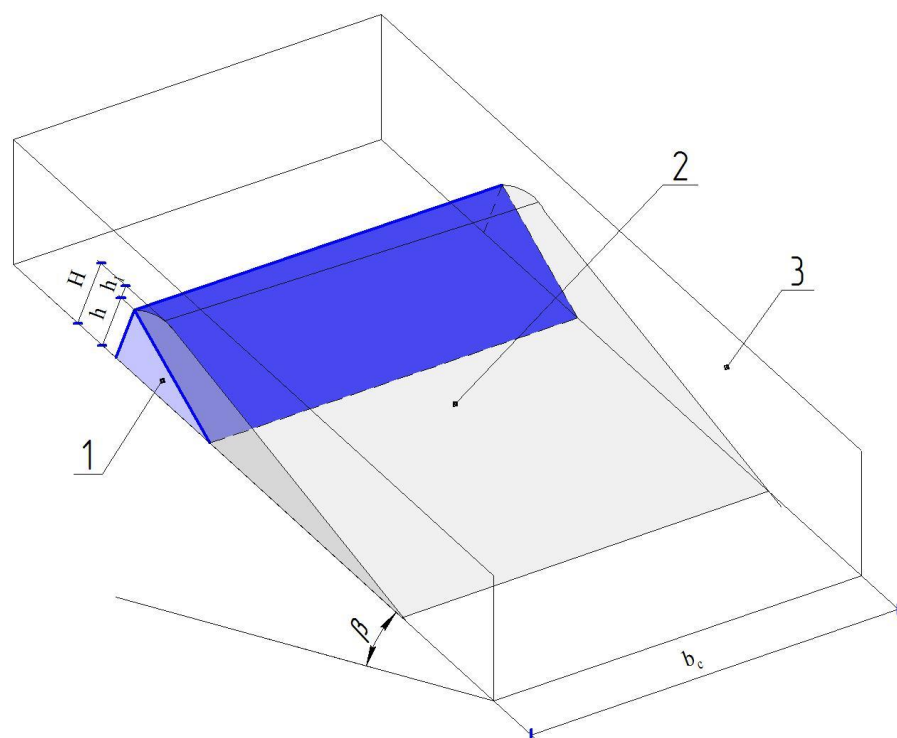


Рисунок 7 – Объем невыгруженного материала:
1 – скребок; 2 – невыгруженный материал; 3 – кузов

С учетом выражения (19) производительность Q_2 , кг/с, разгрузки оставшейся в кузове части материала может быть определена следующим образом:

$$Q_2 = k_v v_c B_c \frac{(gtg\varphi_0 - B_{cy}m_0) + \sqrt{(gtg\varphi_0 - B_{cy}m_0)^2 + 4G_1^2\gamma B_c\tau_c}}{2G_1\gamma}. \quad (20)$$

На рисунке 8 построен график, характеризующий теоретическую зависимость (20) для скребка высотой $h = 0,1$ м с учетом скоростей движения скребка. На графике теоретическая кривая – кривая, построенная по точкам, полиномиальная – кривая характеризующая линию тренда.

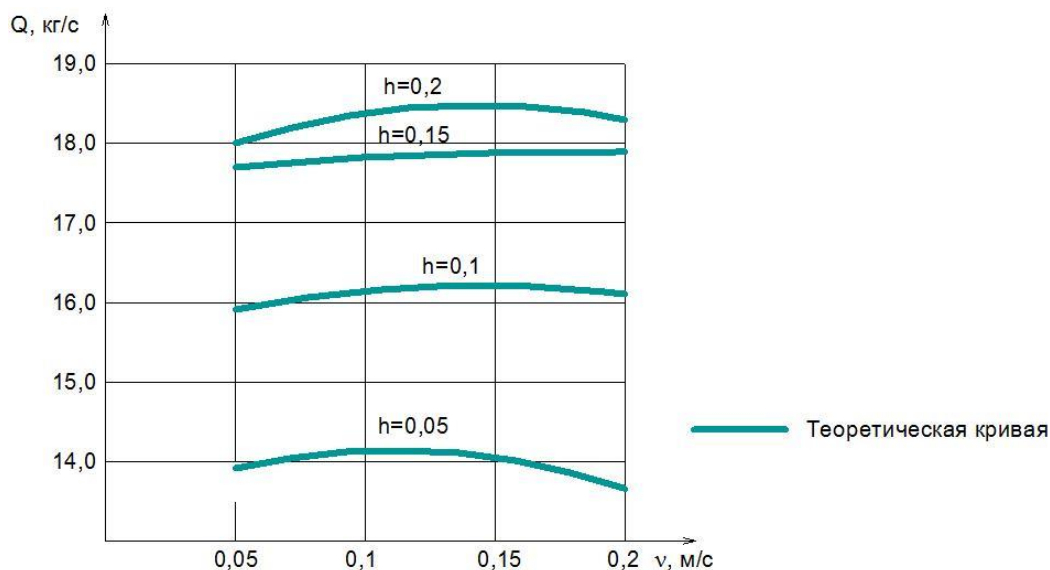


Рисунок 8 – Зависимость производительности разгрузки с применением активизатора при высоте скребка $h = 0,1$ м от скорости подачи v , м/с

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований и производственных испытаний, дано описание объектов исследований и экспериментального образца транспортного средства, оборудованного активизатором разгрузки (рисунок 9).



Рисунок 9 – Общий вид кузова транспортного средства с активизатором разгрузки

В ходе экспериментальных исследований изучали физико-механические свойства грузов (грунта, навоза); режимные параметры (поступательная скорость скребка, усилия на штоках гидроцилиндров); оптимальные конструктивные параметров скребка активизатора разгрузки; проводили сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими положениями.

На липкость перевозимых грузов (навоз, грунт) помимо влажности большое влияние оказывает время выдержки – нахождения в кузове транспортного средства. Время выдержки зависит от длительности перевозки и организации производственного процесса. Для определения влияния времени нахождения в кузове транспортного средства на липкость перевозимых грузов и с целью моделирования процесса разгрузки исследуемого материала (навоза и грунта) из кузова транспортного средства и определения зависимости усилия, затрачиваемого на перемещение скребка вдоль настила, была разработана экспериментальная установка (рисунок 10).

В соответствии с задачами, поставленными в работе, и теоретическими разработками программа исследований включала в себя серию одно- и двухфакторных экспериментов. В ходе однофакторных экспериментов определялось влияние времени выдержки груза в кузове транспортного средства на липкость груза к поверхностям кузова; в ходе двухфакторного эксперимента изучали влияние скорости подачи скребка активизатора и высоты скребка активизатора на производительность разгрузки, усилие на штоке гидроцилиндра, затрачиваемую мощность и энергоёмкость процесса разгрузки.

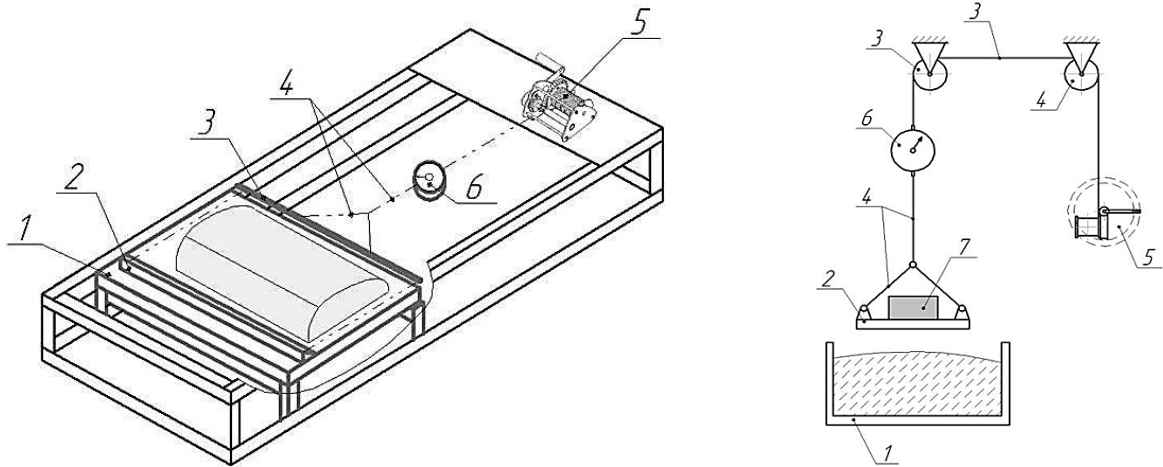


Рисунок 10 – Схема лабораторной установки для определения влияния времени выдержки на липкость навоза и грунта при контакте с металлической поверхностью: 1 – настил; 2 – скребок (плита); 3 – траверса (блок); 4 – трос; 5 – ручная червячная лебедка; 6 – динамометр; 7 – утяжелитель

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований физико-механических свойств перевозимых сельскохозяйственных грузов: навоза ($\varphi = 75\%$, $\rho = 780 \text{ кг/м}^3$) и грунта ($\varphi = 73\%$, $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$) (рисунки 11, 12); приведены результаты экспериментальных исследований.

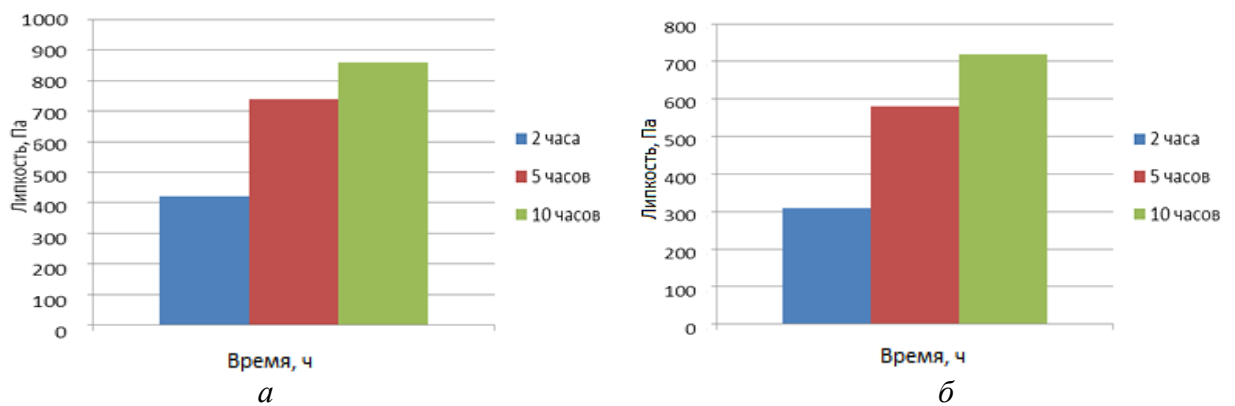


Рисунок 11 – Диаграмма изменения липкости, Па, от времени выдержки, ч: а – для навоза; б – для грунта

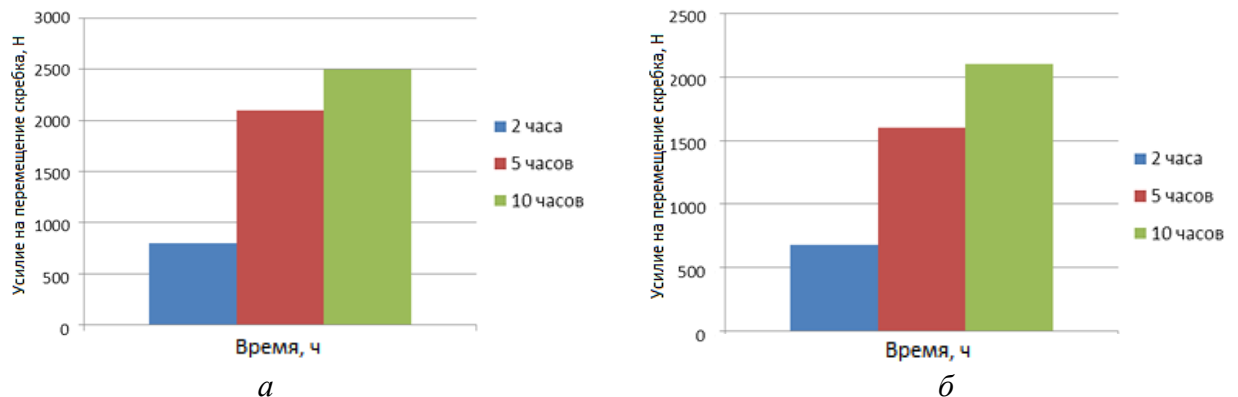


Рисунок 12 – Диаграмма изменения усилия на перемещение скребка, Н, от времени выдержки, ч: а – для навоза; б – для грунта

Анализ результатов показал, что липкость, как для навоза, так и для грунта при контакте с металлической поверхностью с течением времени увеличивается. На первоначальном этапе увеличение липкости объясняется увеличением площади контактирующих поверхностей при уплотнении груза, дальнейшее увеличение липкости объясняется повышением прочности связей между частицами груза, которое происходит по мере снижения влажности материалов.

Лабораторные испытания позволили выбрать наиболее оптимальные параметры и режимы проведения экспериментальных исследований. В результате исследований установлено, что затраты энергии на перемещение скребка наибольшие по истечении 10 ч. Однако увеличение значения усилия, затрачиваемого на перемещение скребка, носит менее выраженный характер, чем по истечении 5 ч. Данные выводы легли в основу дальнейших экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования позволили установить влияние наиболее значимых факторов: поступательной скорости скребка, усилий на штоках гидроцилиндров, высоты задней стенки скребка.

Уравнения регрессии в раскодированном виде, описывающие характер изменения усилия на штоке гидроцилиндра при изменении указанных параметров, имеют следующий вид:

для грунта:

$$F_{шт} = 5580 + 4750a + 5060b + 11000a^2 + 7000b^2 + 10640ab;$$

для навоза:

$$F_{шт} = 5755 + 5081a + 1031b + 7875a^2 - 11875b^2 + 19300ab.$$

Графически данные зависимости представлены на рисунке 13.

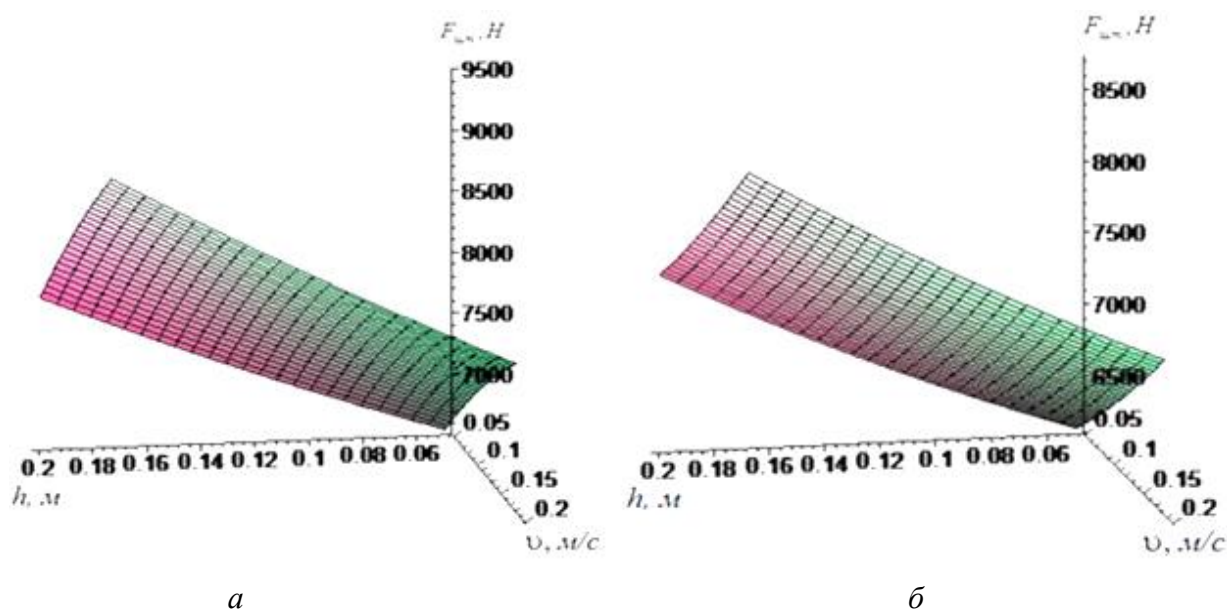


Рисунок 13 – Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра от высоты скребка h , м (фактор a) и скорости подачи v , м/с (фактор b): a – для грунта; b – для навоза

Полученные уравнения и соответствующие им трехмерные поверхности показывают, что усилие на штоке гидроцилиндра возрастает как с увеличением скорости подачи, так и с увеличением высоты задней стенки скребка. Рост усилия на штоке гидроцилиндра носит нелинейный характер, что объясняется ростом инерционных процессов, происходящих при увеличении обоих факторов. На инертность груза влияют возрастающие силы сопротивления подрезанию груза и деформации груза, рост которых носит квадратичный характер. Увеличение усилия на штоке гидроцилиндра также связано с ростом призмы волочения при перемещении скребка вдоль днища кузова, которая с увеличением высоты скребка также увеличивается. Увеличение значения $F_{шт}$, H , связано с ростом сил внутреннего сцепления частиц груза, который наблюдается при увеличении высоты скребка. Увеличение усилия на штоке гидроцилиндра приводит к росту материалоемкости системы, связанной с необходимостью сохранения эффективности работы, поэтому увеличение обоих факторов приведет к росту массы конструкции, увеличению ее стоимости, а следовательно, повлечет рост эксплуатационных расходов.

Важным параметром, характеризующим эффективность работы транспортного средства, является производительность. Полученные уравнения и графические зависимости (рисунок 14) показывают наличие экстремума по обоим исследуемым факторам:

для грунта:

$$Q = 10,9 + 1,9a + 58,0b - 12,5a^2 - 182,5b^2 + 66ab;$$

для навоза:

$$Q = 8,61 + 10,57a + 41,77b - 53,5a^2 - 102,0b^2 - 4,4ab.$$

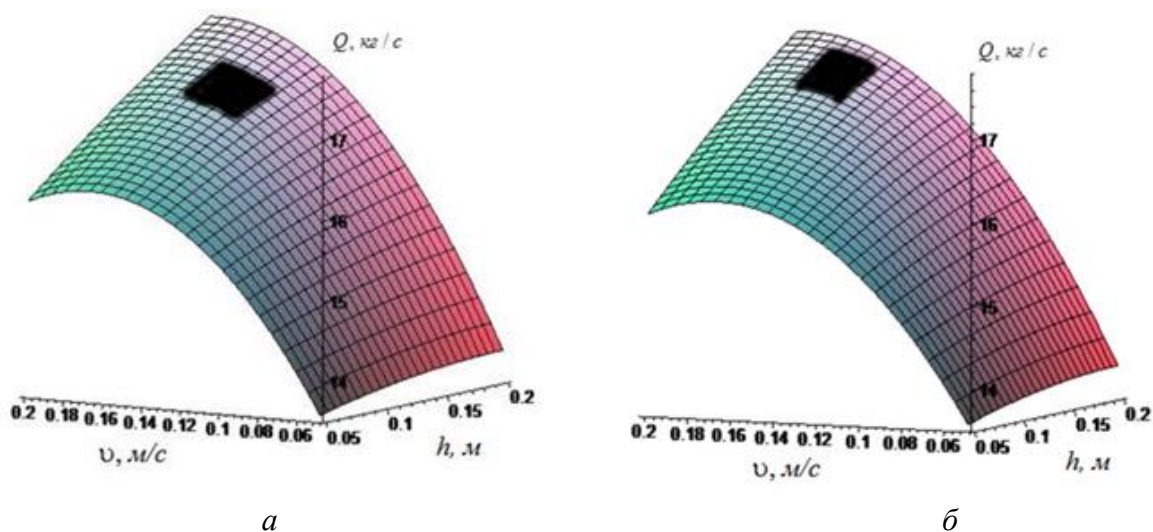


Рисунок 14 – Зависимость производительности от высоты скребка h , м (фактор a) и скорости подачи v , м/с (фактор b): a – для навоза; b – для грунта

Зависимости производительности от скорости движения скребка активизатора и высоты скребка активизатора имеют квадратичный характер. С ростом поступательной скорости скребка производительность вначале увеличивается, затем при скорости скребка $v = 0,17$ м/с достигает максимума, а при дальнейшем увеличении скорости свыше $0,18$ м/с начинает снижаться. Сечения поверхности плоскостями, параллельными плоскостям координатных осей, имеют форму парабол. Графически по фактору b экстремальное значение более выраженное. При большой скорости движения скребка часть грунта перебрасывается через верхнюю кромку планки в заднюю часть кузова, и данная часть грунта в конечном итоге остается невыгруженной, так как эффективная скорость перемещения скребка находится в квадратичной зависимости от высоты скребка. Анализ уравнения на экстремум по фактору a показал наличие экстремума при значении $l = 0,16$ м.

С ростом скорости подачи увеличиваются силы инерции, действующие на частицы грунта, вследствие чего быстрее происходит увеличение призмы волочения, при достижении которой граничных значений часть груза (грунта) перебрасывается через скребок и при этом наблюдается снижение производительности.

Вследствие больших внутренних связей частиц навоза увеличение призмы волочения с увеличением скорости носит более динамичный характер нежели при работе с грунтом. В связи с этим большая часть материала пересыпается через заднюю стенку скребка.

Проанализировано влияние скорости движения скребка активизатора v , м/с, и высоты скребка l , м, на мощность P , Вт, и энергоемкость E , Дж/кг. Для данного рабочего органа оптимальная высота скребка составила $l = 0,17$ м при скорости скребка $v = 0,17$ м/с.

Проведена оценка сходимости теоретических и полученных экспериментальных зависимостей усилия на штоке гидроцилиндра (рис. 15) и производительности (рис. 16) при высоте задней стенки скребка $h = 0,1$ м. Расхождения не превышают 5%.

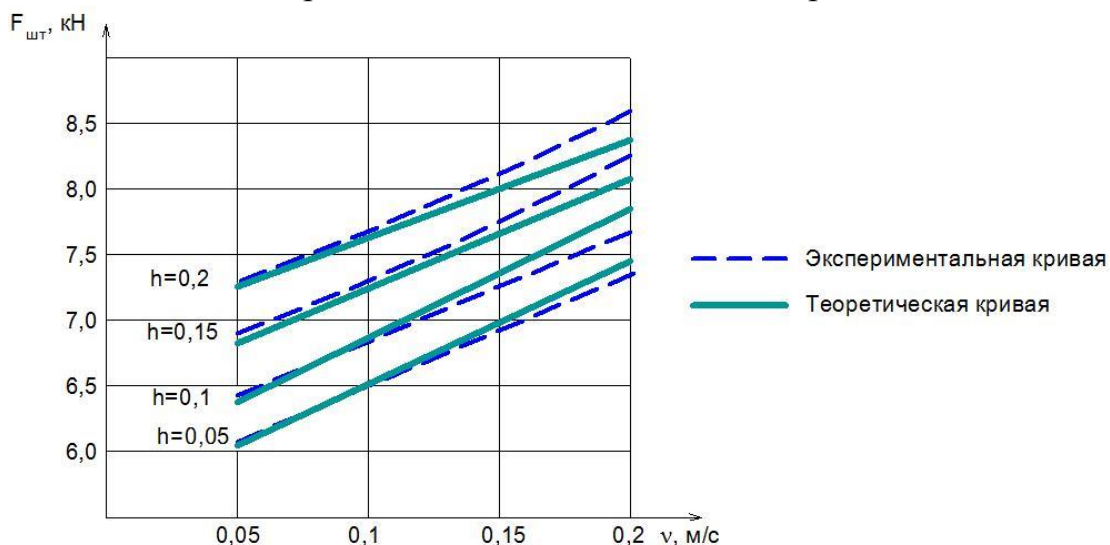


Рисунок 15 – Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра активизатора при высоте скребка $h = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ м от скорости подачи v , м/с

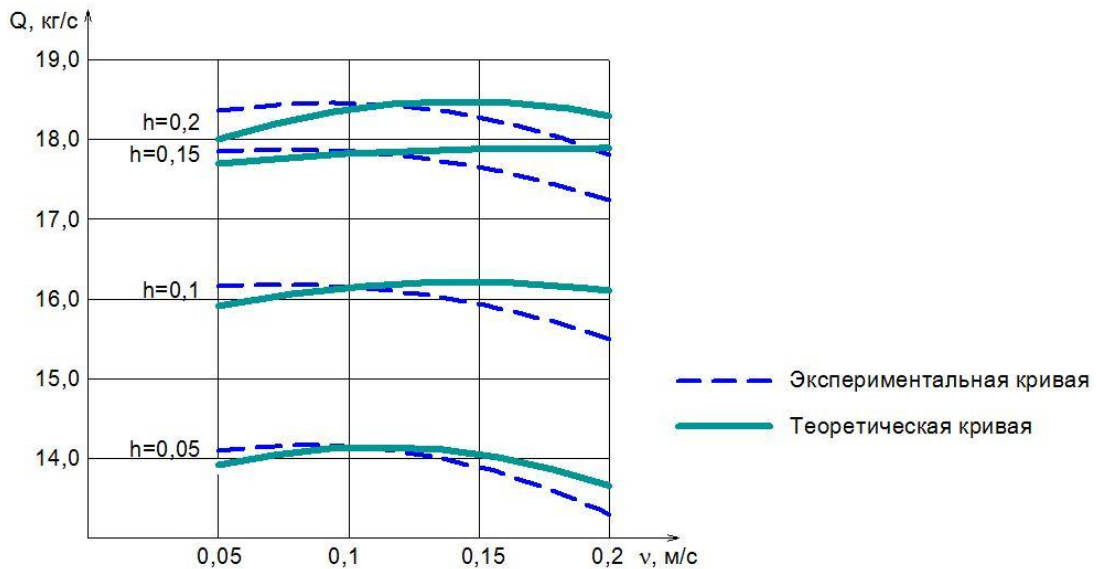


Рисунок 16 – Кривые, характеризующие зависимости производительности процесса разгрузки при высоте скребка $h = 0,1$ м от скорости подачи v , м/с

В пятой главе «Производственная проверка и экономическое обоснование» представлена оценка экономической эффективности использования активизатора разгрузки. Расчет экономической эффективности проводили для автомобиля ГАЗ-53 02 самосвал в стандартном исполнении и этого же автомобиля, оборудованного активизатором разгрузки. Экономический эффект от внедрения активизатора разгрузки достигается за счет снижения затрат труда на очистку кузова от налипшего и оставшегося в кузове груза.

Годовой экономический эффект за счет увеличения производительности труда составил 33 250 руб.

Заключение

1. На основании анализа существующих конструкций и разработанной классификации самосвальных устройств разгрузки предложена новая конструктивно-технологическая схема активизатора разгрузки кузова транспортного средства (патент РФ на изобретение № 147174), которая позволяет повысить производительность и снизить время цикла при перевозке материалов, способных слеживаться и слипаться.

2. Теоретическими исследованиями получены аналитические выражения и установлено влияние конструктивных и режимных параметров активизатора разгрузки на мощность и энергоемкость рабочего процесса.

3. Установлено, что при нахождении груза в кузове транспортного средства в течение 8 ч липкость навоза увеличивается в 2,1 раза (до 850 Па); липкость грунта – в 2,3 раза (до 710 Па). Для обеспечения высокой эффективности разгрузки

прицеп транспортного средства должен быть оснащен активизатором разгрузки со скребком: высота задней стенки скребка 0,17 м, угол заострения $\alpha = 30^\circ$.

4. Получены экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели производительности разгрузки Q , кг/ч, от скорости движения v , м/с, и высоты скребка h , м, активизатора разгрузки в зависимости от липкости транспортируемых материалов. Экспериментальные исследования позволили установить, что зависимость производительности разгрузки Q кг/ч, от скорости движения скребка активизатора v , м/с, и высоты скребка h , м, имеет квадратичный характер, полученное уравнение и соответствующая ему трехмерная поверхность показывают наличие экстремума по обоим факторам. При скорости движения скребка свыше $v = 0,17$ м/с часть грунта перебрасывается через верхнюю кромку планки в заднюю часть кузова. Анализом изменения мощности $P = 1,5 \dots 1,7$ кВт и энергоемкости $E = 63 \dots 85$ Дж/кг для активизатора разгрузки установлены оптимальные конструктивные и режимные параметры – высота скребка $h = 0,17$ м, скорость перемещения по поверхности днища кузова $v = 0,17$ м/с.

5. При проведении производственных испытаний получен годовой экономический эффект при транспортировании трудносыпучих грузов с применением активизатора разгрузки, который составляет 33 250 руб., срок окупаемости дополнительных капиталовложений составит 2,7 года.

Рекомендации производству

Полученные результаты могут быть использованы производителями сельскохозяйственной техники на стадиях разработки и проектирования нового оборудования.

Перспектива дальнейшей разработки темы

В дальнейшем целесообразно совершенствование технологического процесса разгрузки трудносыпучих сельскохозяйственных грузов из кузова транспортного средства, позволяющее снизить количество дополнительных операций на очистку кузова.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Швечихин, Д.В. Исследования конструктивных параметров активизатора разгрузки трудносыпучих грузов на мощность и энергоемкость процесса разгрузки / Д.В. Швечихин, П.С. Бедило, Т.В. Овчиникова // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 153 – 157.

2. Швечихин, Д.В. Результаты экспериментальных исследований активизатора разгрузки трудносыпучих грузов / Д.В. Швечихин, [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 11. – С. 62 – 64.

3. Швечихин, Д.В. Исследование влияния высоты задней стенки и скорости подачи скребка активизатора разгрузки трудносыпучих грузов на требуемую мощность и энергоемкость / Д.В. Швечихин, П.С. Бедило, Т.В. Овчиникова // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 10. – С. 46 – 48.

В патентах:

4. Пат. 147174 Российская Федерация, МПК В 60 Р 1/00 (2006.01). Устройство для активизации выгрузки слеживающихся, прилипающих и примерзающих грузов / Швечихин Д.В., Бедило П.С., Павлов П.И.; заявитель и патентообладатель Сар. гос. агр. ун-т им. Н.И. Вавилова. - № 2012157497/11; заявл. 26.12.2012; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19. - 3 с.: ил.

В материалах конференций и семинаров и в других изданиях:

5. Швечихин, Д.В. Классификация автотракторных прицепов сельскохозяйственного назначения / Д.В. Швечихин // Новые технологии и технические средства в АПК: матер. междунар. конф., посвящ. 105-летию со дня рож. проф. В.В. Красникова. – Саратов, 2013. – С. 229 – 233.

6. Швечихин, Д.В. Активизатор для разгрузки трудносыпучих грузов из кузова транспортного средства / Д.В. Швечихин, П.И. Павлов, П.С. Бедило // Новые технологии и технические средства в АПК: матер. междунар. конф., посвящ. 105-летию со дня рож. проф. В.В. Красникова. – Саратов, 2013. – С. 12 – 14.

7. Швечихин, Д.В. Погрузчик для буртованных сельскохозяйственных грузов / Д.В. Швечихин, С.В. Малахов // матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию со дня рож. проф. А.Г. Рыбалко; СГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С 23 – 27.

8. Швечихин, Д.В. Устройство активизации разгрузки из кузова транспортного средства / Д.В. Швечихин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: матер. междунар. науч.-техн. семинара им. В.В. Михайлова. – 2014. – № 27. – С. 5 – 7.

Подписано в печать «__»_____2017. Заказ №
Формат 60×90/22. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова