

Игитов Шамиль Магомедович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЗВЕНЬЕВ ПРИМЕНЕНИЕМ
АВТОПОЕЗДОВ С ДЕМПИРУЮЩИМ
ТЯГОВО-СЦЕПНЫМ УСТРОЙСТВОМ
(В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН)**

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

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Саратов 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова» (ФГБОУ ВПО «ДагГАУ им. М.М. Джамбулатова»)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Хабибов Сулейман Рашадович

Официальные оппоненты: **Гамаюнов Павел Петрович,**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Стружкин Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Защита состоится 18 июня 2014 года в 12.⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «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 ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте www.sgau.ru

Отзывы направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современных условиях развития агропромышленного производства продовольственная безопасность во многом определяется техническим потенциалом сельского хозяйства и степенью эффективности его использования. Основу технического потенциала составляет машинно-тракторный парк. За последнее пятнадцатилетие произошло резкое сокращение парка сельскохозяйственной техники, особенно это касается грузовых автомобилей, количество которых снизилось в три раза.

В Республике Дагестан насчитывается 12 машинно-технологических станций (МТС), в состав которых входят уборочно-транспортные звенья, позволяющие собирать урожай зерновых культур в агротехнические сроки. Однако природно-климатические условия Дагестана, конфигурация и расположение полей, сильно пересеченная и гористая местность, состояние дорог с крутыми поворотами и уклонами снижают эффективность применения транспортных средств. Использование автомобильных поездов большой грузоподъемности невозможно без специальных устройств, обеспечивающих безопасность движения на высоких скоростях. Таким образом, разработка тягово-сцепного устройства с характеристиками, отличающимися от известных и позволяющими увеличить производительность транспортных средств, является важной хозяйственной задачей.

Актуальность работы также подтверждается тем, что она выполнена в рамках целевой программы развития АПК Дагестана «Повышение технической оснащенности сельскохозяйственного производства в Республике Дагестан на 2012–2020 годы» от 2 марта 2012 г. № 11.

Степень разработанности. В Республике Дагестан создано большое количество МТС, в которых функционируют уборочно-транспортные звенья. С целью сокращения сроков выполнения уборочно-транспортных работ имеется острая необходимость повысить производительность транспортирующих машин. В настоящий момент транспортировка собранного урожая осуществляется как грузовыми автомобилями, так и автопоездами, имеющими небольшие скорости передвижения в дорожных условиях республики вследствие сильного динамического воздействия прицепа на автомобиль. Резервом повышения производительности автопоездов является применение тягово-сцепных устройств (ТСУ), обеспечивающих снижение динамического воздействия прицепа.

В настоящее время существует значительное количество ТСУ, отличающихся по конструкции и принципам действия. При рассмотрении трудов ученых по данной тематике было установлено: во-первых, развитие направлений исследований по совершенствованию существующих ТСУ лежит в плоскости дополнения их демпфирующими устройствами; во-вторых, не исследовано влияние эксплуатационных режимов движения автопоезда на работу ТСУ, отсутствуют практические рекомендации по влиянию нагруженности автопоезда и дорожных условий на скоростной режим движения автопоезда.

Предлагаемая работа направлена на исследование возможности повышения скорости движения автопоездов, работающих в составе уборочно-транспортного звена.

Цель исследований – повышение производительности автопоездов, оборудованных демпфирующим тягово-сцепным устройством, путем снижения динамического воздействия прицепа на автомобиль.

Задачи исследований:

1. Провести анализ эффективности использования уборочно-транспортных звеньев в условиях Республики Дагестан.

2. Теоретически обосновать рациональный состав уборочно-транспортного звена, определить производительность автопоезда, оборудованного демпфирующим тягово-сцепным устройством, и установить влияние его конструктивно-технологических параметров на скоростной режим автопоезда.

3. Провести экспериментальные исследования влияния тягово-сцепного устройства с дополнительным пружинным элементом на динамическое воздействие прицепа, скоростные характеристики и производительность автопоезда.

4. Определить технико-экономическую эффективность применения автопоездов, оборудованных тягово-сцепным устройством, в составе уборочно-транспортных звеньев.

Объект исследования – технологический процесс транспортировки зерна автопоездом, оборудованным демпфирующим тягово-сцепным устройством.

Предмет исследования – закономерности изменения производительности автопоездов при транспортировке зерна в условиях пересеченной и гористой местности.

Научная новизна. Усовершенствован технологический процесс транспортировки зерна с применением автопоездов, оборудованных демпфирующим тягово-сцепным устройством, и обоснован рациональный состав уборочно-транспортного звена; разработано тягово-сцепное устройство с дополнительным пружинным элементом, обоснованы конструктивно-технологические параметры демпфирующего тягово-сцепного устройства, влияющие на скоростные характеристики и производительность автопоезда.

Практическая значимость. Разработано демпфирующее тягово-сцепное устройство с дополнительным пружинным элементом и обоснованы его конструктивно-технологические параметры (патент 137237). Тягово-сцепное устройство позволяет повысить производительность автопоезда на 15 % и снизить динамическое воздействие прицепа на 14,2 %. Разработанная номограмма определения рационального состава уборочно-транспортного звена МТС позволяет подобрать требуемое количество грузовых автомобилей и автопоездов для непрерывной работы зерноуборочных комбайнов с учетом урожайности сельскохозяйственных культур и расстояния перевозки зерна.

Методология и методы исследований предусматривали разработку теоретических положений, научное обоснование закономерностей функционирования составляющих уборочно-транспортных звеньев МТС с применением автопоездов, имеющих усовершенствованную конструкцию тягово-сцепного устройства.

Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений, законов и методов классической механики и математики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях в соответствии с ГОСТ Р 52778–2007, ГОСТ Р 52777–2007, ГОСТ 17460–72, ГОСТ Р 52302–2004 и частными методиками, а также с использова-

нием теории планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием стандартных программ Statistica, Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости производительности автопоезда, оснащенного демпфирующим тягово-сцепным устройством, от скорости движения;
- конструктивно-технологические характеристики ТСУ, снижающие динамическое воздействие на прицеп и повышающие производительность автопоезда (патент 137237);
- номограмма определения рационального состава уборочно-транспортного звена в системе машинно-технологических станций в зависимости от расстояния перевозки зерна.

Реализация результатов исследований. Разработанная конструкция демпфирующего ТСУ, применяемая на автопоездах, внедрена в СПК «Дружба» Казбековского района Республики Дагестан, где автопоезда, состоящие из грузового автомобиля КАМАЗ-5320 с прицепом марки КАМАЗ модель 8560-82-02, эксплуатируются на протяжении 2 лет.

Степень достоверности и апробация. Достоверность научных результатов подтверждается данными экспериментальных исследований, полученными с применением современных государственных стандартов при организации и проведении полевых экспериментов, подтвержденными актами внедрения. Степень достоверности обеспечена статистическими методами оценки эксперимента, с использованием ЭВМ, подтверждается высокой сходимость теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты диссертационной работы обсуждены и одобрены на международных и научно-практических конференциях в ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (2009–2013 гг.); Международной научно-практической конференции «Основы рационального природопользования» (Саратов, 2009 г.); Международной научно-практической конференции «Инновации, наука и образование» (Саратов, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства» ФГОУ ВПО МГУП (Москва, 2010 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне «Современные проблемы и перспективы развития аграрной науки» (Махачкала, 2010 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко (Саратов, 2011 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова «Аграрная наука: современные проблемы и перспективы развития» (Махачкала, 2012 г.); Międzynarodowej naukowo-pracycznej konferencji «Wykształcenie i nauka bez granic – 2012» (Przemysl, 2012 г.); X mezinárodní vědecko-praktická konference «Věda a vznik – 2013/2014» (Praha, 2013 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в 13 печатных работах, в т. ч. 3 статьи в рецензируемых научных изданиях. Получены 2 патента РФ на полезную модель. Пять статей опубликовано без соавторов. Общий объем публикаций составляет 3,4 печ. л., из них автору принадлежит 1,55 печ. л.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Диссертация изложена на 199 с., содержит 7 таблиц, 59 иллюстраций и 14 приложений. Список литературы включает 159 наименований, из которых 7 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы, ее практическая значимость, изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» представлен анализ агропромышленного комплекса Республики Дагестан с описанием работы уборочно-транспортных звеньев машинно-технологических станций.

Анализ показал, что в сложных природно-климатических условиях республики необходимо проводить уборочно-транспортные работы в короткие сроки. Это возможно при использовании высокопроизводительных уборочно-транспортных звеньев в составе МТС, обеспечивающих бесперебойную работу с применением автопоездов для транспортировки собранного урожая. В свою очередь повысить производительность автопоездов возможно за счет увеличения скорости движения путем применения демпфирующих ТСУ.

Огромный вклад в создание и развитие МТС в разные годы внесли теоретические и экспериментальные исследования Л.Ф. Кормакова, В.М. Михлина, Н.Н. Нисредова, А.А. Пенкина, М.А. Путинцева и других ученых. Эксплуатационным показателям автопоездов и тягово-сцепным устройствам свои исследования посвятили П.П. Гамаюнов, Я.Х. Закин, А.А. Зангиев, С.А. Иофинов, Ю.К. Киртбая, В.М. Кряжков, Е.С. Кузнецов, В.М. Фортуна и другие ученые.

Во второй главе «Теоретическое обоснование применения автопоездов при выполнении уборочно-транспортных работ» обоснован количественный и качественный состав уборочно-транспортного звена с применением автопоездов, разработана конструкция демпфирующего ТСУ автопоезда, повышающая его производительность.

В процессе выполнения уборочно-транспортных работ задействовано два типа машин – комбайн и грузовой автомобиль (автопоезд), которые имеют определенную производительность. Повысить производительность уборочно-транспортного звена можно за счет снижения времени ездки автопоезда путем увеличения скорости движения. Для этого рекомендуется проводить транспортные работы по двум вариантам (рисунок 1).

Согласно представленной схеме технологический процесс транспортировки зерна будет осуществляться при следующих условиях:

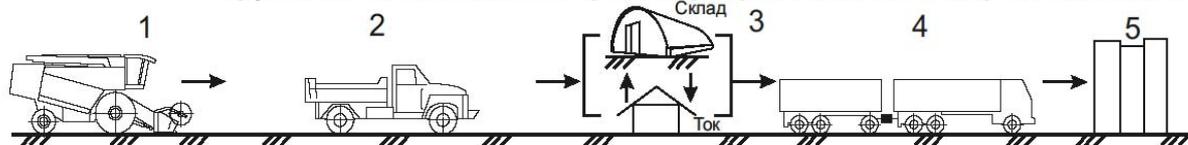
$$\text{Вариант 1} - P_k n_k \leq P_{za} n_{za} \leq |P_{mt} n_{mt}| \leq P_a n_a \leq |P_z n_z|, \quad (1)$$

$$\text{Вариант 2} - P_k n_k \leq P_a n_a \leq |P_z n_z|, \quad (2)$$

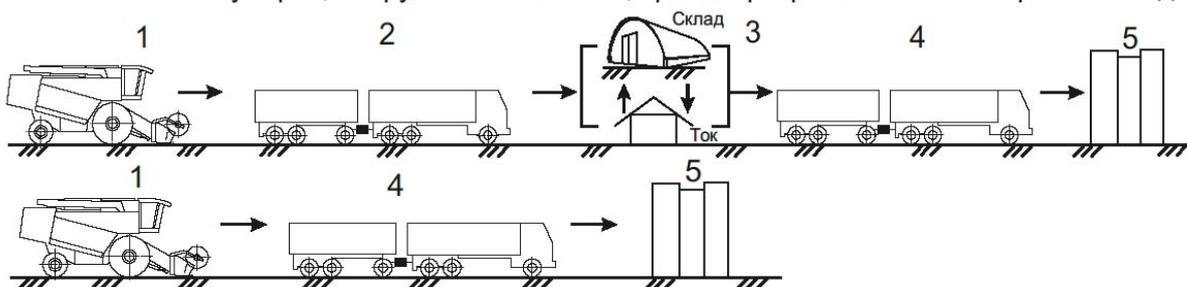
где P_k , P_{za} , P_{mt} , P_a , P_z – соответственно часовые производительности зерноуборочного комбайна, грузового автомобиля, механического тока (сортировочного пункта), автопоезда, элеватора, т/ч; n_k , n_{za} , n_{mt} , n_a , n_z – соответственно ко-

личество зерноуборочных комбайнов, грузовых автомобилей, механических токов (сортировочных пунктов), автопоездов, элеваторов, шт.

Существующий: уборка, выгрузка из комбайна, транспортировка на ток (склад) грузовым автомобилем, транспортировка на элеватор автопоездом



Предлагаемый: - уборка, выгрузка из комбайна, транспортировка на ток (склад) автопоездом, транспортировка на элеватор автопоездом
- уборка, выгрузка из комбайна, транспортировка на элеватор автопоездом



1 - зерноуборочный комбайн; 2 - грузовой автомобиль; 3 - ток, склад;
4 - автопоезд с модернизированным ТСУ; 5 - элеватор

Рисунок 1 – Схема технологического процесса транспортировки зерна

Для эффективной работы необходимо, чтобы производительность транспортирующих машин была больше или равна производительности комбайна, тогда требуемое количество грузовых автомобилей n_a определяем как

$$n_a = \frac{n_k \Pi_k}{\Pi_a} \quad (3)$$

где n_k – количество зерноуборочных комбайнов, шт; Π_k , Π_a – соответственно производительность зерноуборочного комбайна и автопоезда, т/ч.

Задавшись производительностью зерноуборочного комбайна, вычисляем потребное количество грузовых автомобилей, которое будет зависеть от дальности возки собранного урожая, тогда время ездки $t_{езд}$ складывается из времени движения грузового автомобиля с грузом, без груза и времени простоя на погрузке и выгрузке.

$$t_{езд} = t_{загр} + t_{гр} + t_{разгр} + t_{бгр} \quad (4)$$

где $t_{загр}$ – время, затрачиваемое на загрузку грузового автомобиля, ч; $t_{гр}$ – время движения грузового автомобиля с грузом, ч; $t_{бгр}$ – время движения автомобиля без груза, ч; $t_{разгр}$ – время, затрачиваемое на выгрузку автомобиля, ч.

Время, затрачиваемое на загрузку автомобиля комбайном, его выгрузку на элеваторе, можно считать постоянными, $t_{загр} = \text{const}$, $t_{разгр} = \text{const}$, и зависящим от производительности загрузочных устройств комбайна и элеватора. Тогда суммарное время движения грузового автомобиля можно выразить отношением, с учетом того, что суммарная длина пробега грузового автомобиля за одну ездку ℓ_e будет складываться из пробега с грузом $\ell_{гр}$ и пробега без него $\ell_{бгр}$, тогда

$$t_{зп} = \frac{\ell_{зп}}{v_a K_v}, \quad t_{бзп} = \frac{\ell_{бзп}}{v_a} \quad (5)$$

где $\ell_{гр}$, $\ell_{бгр}$ – соответственно расстояние ездки автомобиля с грузом и без него, км;

v_a – теоретическая скорость движения автомобиля, км/ч; K_v – коэффициент снижения скорости, зависящий от дорожных условий, для грузового автомобиля $K_v = 0,9 \dots 0,95$, для автопоездов $K_v = 0,8 \dots 0,85$.

Коэффициент снижения скорости движения автомобиля будем определять как

$$K_v = v_{дса} / v_a, \quad (6)$$

где $v_{дса}$ – действительная (рабочая) скорость движения автомобиля, км/ч.

При движении автомобиль затрачивает мощность двигателя, пропорциональную сумме сопротивлений движению автомобиля и скорости его движения. Определив суммарное сопротивление передвижению автомобиля, можно получить уравнение скорости движения автомобиля, решение которого имеет вид

$$v_a = \frac{-\beta_a + \sqrt{\beta_a^2 - 4\alpha_a \delta_a}}{2\alpha_a}, \quad (7)$$

где $\alpha_a = K_{об} S_{лоб}$; $\beta_a = Ne_{дв} \eta_m$; $\delta_a = G_a (f_{кач} + \sin \alpha + 0,277 \frac{K_{сп} v_p}{g t_p})$; $f_{кач}$ – коэффициент

сопротивления качению движителя; G_a – максимальный вес автомобиля, Н; α – угол уклона местности, град; $K_{вр}$ – коэффициент инерции вращающихся масс; v_p – скорость разгона или торможения автомобиля, км/ч; t_p – время разгона автомобиля, ч; $K_{об}$ – коэффициент обтекаемости; $S_{лоб}$ – площадь лобового сопротивления машины, m^2 ; v_a – скорость движения автомобиля, км/ч.

Определив скорость движения грузового автомобиля, можно определить время одной ездки при максимальной грузоподъемности с учетом зависимости (4), тогда

$$t_e = \frac{\ell_{зр} (2K_{он} S_{лоб})}{\left[-Ne_{дв} \eta_m + \sqrt{(Ne_{дв} \eta_m)^2 - 4K_{он} S_{лоб} \left(f_{кач} + \sin \alpha + 0,277 \frac{\delta_{сп} v_p}{g t_p} \right)} \right] K_v} + \frac{\ell_{бзр} (2K_{он} S_{лоб})}{\left[-Ne_{дв} \eta_m + \sqrt{(Ne_{дв} \eta_m)^2 - 4K_{он} S_{лоб} \left(f_{кач} + \sin \alpha + 0,277 \frac{\delta_{сп} v_p}{g t_p} \right)} \right]} + \left(K_{сл} t_{сз} + \frac{V_{бк}}{\Pi_{шк}} + t_{орг} \right). \quad (8)$$

где $K_{сл}$ – коэффициент, учитывающий время затрачиваемое на сложность заезда на склад или элеватор; $t_{сз}$ – время, затрачиваемое на выгрузку грузового автомобиля (равно времени опрокидывания кузова автомобиля), ч; $V_{бк}$ – объем бункера комбайна, m^3 ; $\Pi_{шк}$ – производительность выгрузного устройства комбайна, $m^3/ч$; $t_{орг}$ – время, затрачиваемое на простои по организационным причинам, ч.

При транспортировании собранного урожая на большое расстояние рекомендуется применять автопоезда. В процессе движения по неровной поверхности дороги с максимальной загрузкой в тягово-сцепном устройстве (ТСУ) возникают большие динамические усилия, приводящие к его поломке и снижению

скорости движения автопоезда. С целью снижения динамического воздействия прицепа на автомобиль нами предлагается устанавливать на грузовом автомобиле стандартное серийно выпускаемое сцепное устройство по ГОСТ 2349–75, а на прицепе использовать стандартную сцепную петлю, с тыльной стороны которой устанавливается пружинный элемент, выполненный из кольцевой пружины (рисунок 2).

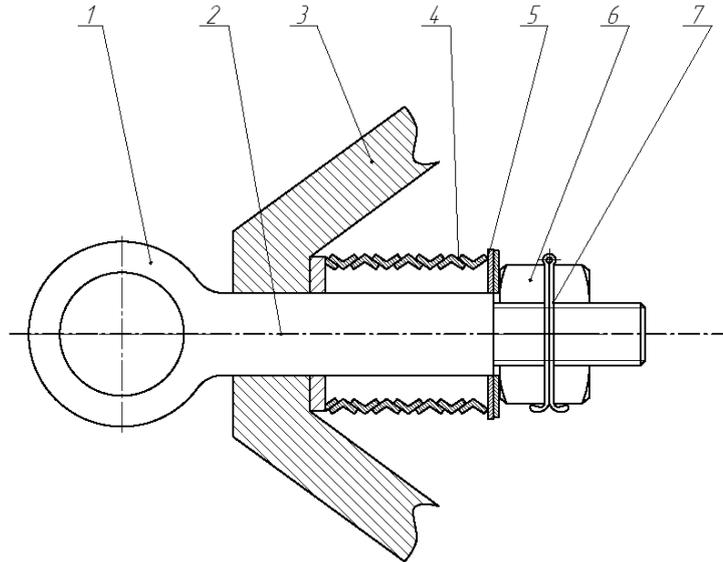


Рисунок 2 – Схема предлагаемой конструкции сцепного устройства прицепа:
 1 – петля тяговая; 2 – стержень; 3 – рама прицепа; 4 – пружина кольцевая; 5 – шайба опорная; 6 – гайка; 7 – шплинт

В процессе движения автопоезда по дорожному покрытию (рисунок 3), возникают его продольные колебания, изменение которых можно определить из дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} M_a \frac{d^2 S_a}{dt^2} &= (F_{ка} + f_{пер} G_a) - (f_{тр} - f_{пер a}) P_{крв} - cS; \\ M_n \frac{d^2 S_n}{dt^2} &= (F_{fn} + f_{пер} G_n) + (f_{тр} - f_{пер n}) P_{крв} + cS; \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где G_a – вес автомобиля, кН; G_n – вес прицепа, кН; $F_{ка}$ – суммарная касательная сила тяги, развиваемая ведущими колесами автомобиля, кН; F_{fn} – суммарная сила сопротивления передвижению переднего и заднего колес прицепа, кН; $f_{тр}$ – коэффициент трения при относительном перемещении крюковой петли в крюке сцепного устройства; $f_{пер}$ – коэффициент сопротивления передвижению колес автомобиля и прицепа; $P_{крв}$ – вертикальная реакция в сцепном устройстве от крюкового усилия, кН; c – приведенный коэффициент жесткости упругого элемента сцепного устройства, Н/м; S – величина сжатия упругого элемента сцепного устройства в процессе передвижения автомобиля с прицепом.

В предлагаемой конструкции ТСУ предусмотрена установка дополнительного пружинного элемента на тяговой петле прицепа, тогда согласно схеме сил, действующих на ТСУ в горизонтальной плоскости (рисунок 4), уравнения движения точки M приложения силы $P_{крг}$ можно записать в виде

$$C_a(x_n - x_a) = F_{крг}, \quad (10)$$

$$\frac{P_{крз} d^2 x_a}{dt^2} - C_n(x_n - x_a) + C_a x_a = 0, \quad (11)$$

где x_a и x_n - координаты точки M и силы приложения крюкового усилия в горизонтальной плоскости; C_a и C_n - соответственно жесткости пружин установленных на крюке автомобиля и сцепной петле прицепа, Н/м.

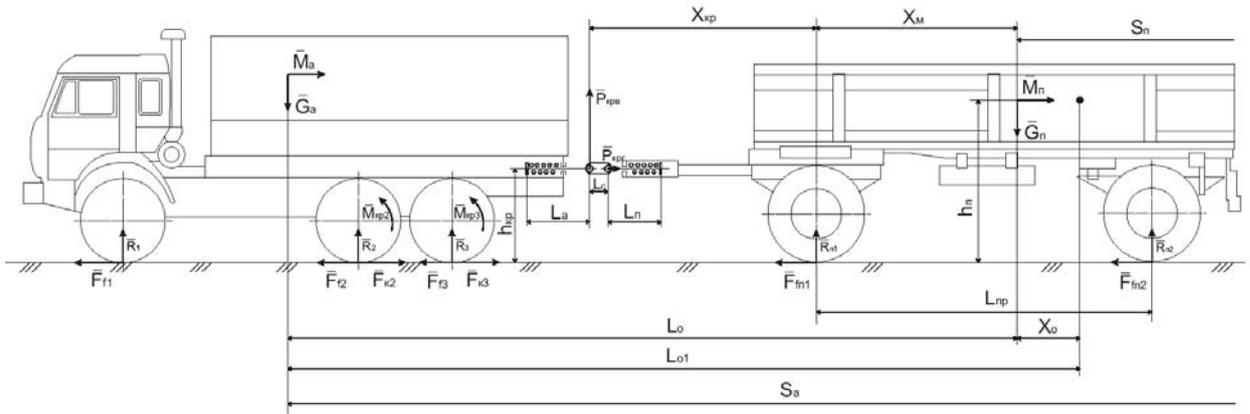


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на автопоезд в процессе движения

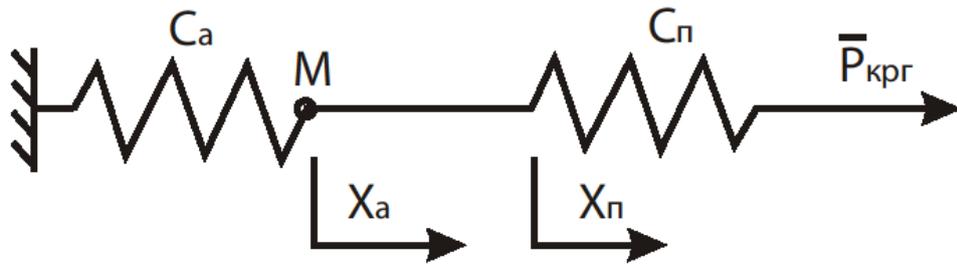


Рисунок 4 – Расчетная схема действия прицепа на автопоезд с предлагаемой конструкцией ТСУ

Во время трогания или торможения автопоезда крюковое усилие, возникающее в горизонтальной плоскости ТСУ, будет характеризоваться массой прицепа, тогда путь, пройденный точкой M , будет зависеть от ускорения, придаваемого системе массой прицепа M_n при разгоне или торможении, которое можно записать в виде

$$x_a = v_{авт} t, \quad (12)$$

где $v_{авт}$ - скорость движения автопоезда, км/ч; t - время пути точки M , ч.

Подставим зависимость (12) в уравнение (11) и решим его с учетом условий, что $C_n < C_a$, $t = 0$, тогда $x_n = 0$; $x_n = v_{авт}$ и уравнение примет вид

$$x_n = \frac{v_a}{\omega} \frac{C_n}{(C_a + C_n)} \sin \omega t + \frac{C_n}{C_a + C_n} v_{авт} t. \quad (13)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{C_n + C_a}{M_n}}$ - частота колебаний системы, Гц.

Переходя к силовым характеристикам, получим

$$F_{крз} = F'_{крз} + v_a \frac{C_n \omega M_n}{C_a + C_n} \sin \omega t. \quad (14)$$

где $F'_{кр}$ – горизонтальное крюковое усилие, действующее в ТСУ, Н.

В предлагаемом сцепном устройстве установлено два пружинных элемента. Величина приведенной жесткости пружинного элемента сцепного устройства будет определяться с учетом жесткости двух пружин

$$c = \frac{C_a C_n}{C_a + C_n}. \quad (15)$$

Во время разгона или переключения передач автомобиля происходит сжатие пружинного элемента в ТСУ на величину S после того, как устранится зазор L_c в соединении крюк – сцепная петля. После выбора зазора в сцепном устройстве происходит сжатие пружинного элемента, установленного на автомобиле, на величину L_a , а пружины в сцепке прицепа – на величину L_n . Так как пружинные элементы установлены по разным сторонам тягово-сцепного устройства, то сжатие пружин приводит к увеличению расстояния между центрами тяжести автомобиля и прицепа на величину

$$X_0 = L_{o1} - L_o = L_{o1} - (L_a + L_c + L_n), \quad (16)$$

где L_{o1} и L_o – соответственно расстояние между центрами тяжести грузового автомобиля и прицепа после процесса движения (разгона) и до движения (остановка, равномерное движение), м; L_a – величина сжатия пружинного элемента, установленного на автомобиле, м; L_n – величина сжатия пружинного элемента, установленного на прицепе, м; L_c – величина зазора между крюком и сцепной петлей тягово-сцепного устройства, м;

Производя двойное дифференцирование уравнения (9) с учетом зависимостей (16) и (15), а также проводя математические преобразования получим максимальную величину сжатия пружинных элементов с учетом их жесткости

$$S = \frac{F_{кр} (C_a + C_n) \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{C_a C_n}{C_a + C_n} \frac{v_o L_c}{F_{кр} \beta} \right)^2} \sin(\beta t + \varepsilon) \right]}{C_a C_n}, \quad (17)$$

где $F_{кр}$ – усилие, возникающее в тягово-сцепном устройстве при движении грузового автомобиля с прицепом, кН; v_o – относительная скорость элементов тягово-сцепного устройства, м/с; β – угловая частота собственных колебаний элементов тягово-сцепного устройства, s^{-1} ; t – время разгона или движения автомобиля, с; ε – коэффициент, характеризующий нагрузку в тягово-сцепном устройстве в процессе движения автомобиля.

В процессе движения в тягово-сцепном устройстве создаются нелинейные колебания, которые позволяют исключить резонансные явления. С учетом предварительного поджатия пружинных элементов графическая зависимость перемещения крюка и сцепной петли от крюкового усилия показана на рисунке 5.

Для определения жесткости пружинного элемента с учетом нелинейности упругости запишем величины относительного перемещения в тягово-сцепном устройстве:

$$\begin{aligned} \text{при } S = 0 \quad f(S) &= F_{кра}; \\ \text{при } 0 < S < L_a \quad f(S) &= F_{кра} + C_a L_a; \\ \text{при } L_a < S < L_n \quad f(S) &= F_{кра} + C_a L_a + C_n (A - L_n) + F_{крп}, \end{aligned}$$

где A – амплитуда вынужденных колебаний в тягово-сцепном устройстве; она будет соответствовать сумме величин деформаций в крюке автомобиля и сцепной петле прицепа, тогда $A = L_a + L_n$, м.

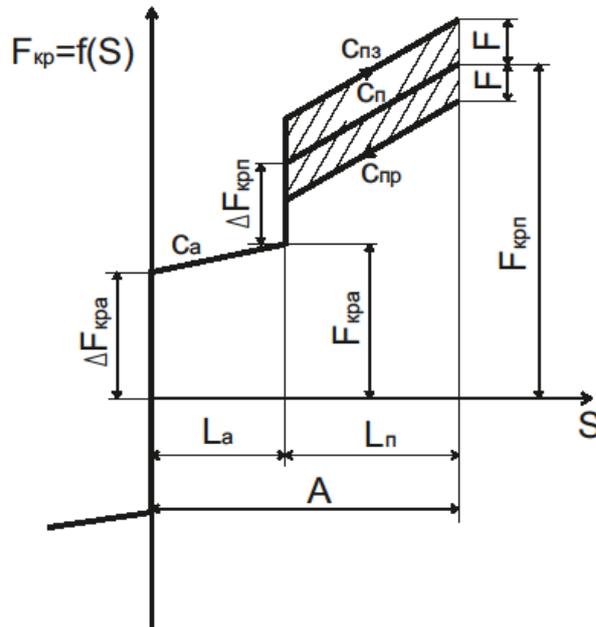


Рисунок 5 – График зависимости влияния крюкового усилия на перемещения крюка и сцепной петли

В предлагаемой конструкции тягово-сцепного устройства установлено два пружинных элемента. При условии, что жесткости пружин установленных на автомобиле и прицепе, не равны, $C_a \neq C_n$, зазор в сцепке крюк – петля отсутствует $L_c = 0$, приведенная жесткость c^* пружинных элементов тягово-сцепного устройства может быть найдена из выражения:

$$c^* = C_n - (C_n - C_a)\alpha \left(\frac{5 - \alpha^4}{4} \right) + \frac{5}{4A} [F_{кра} + F_{крп} (1 - \alpha)]. \quad (18)$$

где $\alpha = \frac{L_a}{A}$; $\beta = \frac{L_n}{A}$ – коэффициенты; $F_{кра}$, $F_{крп}$ – соответственно усилие предварительного поджатия пружинных элементов тягово-сцепного устройства, Н.

Упругая характеристика пружинных элементов ТСУ является нелинейной величиной, тогда, зная жесткость пружинных элементов, определим амплитуду вынужденных колебаний

$$A = \frac{2\pi h_n g K_{an}}{\ell \left(\frac{c}{M_{np}} + \frac{5F_{кр0}}{4AM_{np}} - \omega^2 \right)}, \quad (19)$$

где h_n – высота нервноностей дороги, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; $K_{an} = \frac{M_a + M_n}{M_a}$ – коэффициент нагрузки для автопоездов, $K_{ан} = 1,5-1,8$; ℓ – длина дорожных нервноностей, м; ω – частота вынужденных колебаний, рад/с.

Производительность грузового автомобиля при транспортировке собранного урожая определим как

$$P_{авт} = \frac{\Gamma}{t_{езд}} = \frac{V_{кп} \rho_z K_{зк}}{L_{езд}} [v_{авт} - \Delta v K_{зад} (G_{авт} - G_n)], \quad (20)$$

где Γ – номинальная грузоподъемность автопоезда, т; $t_{езд}$ – время, затрачиваемое на езду автопоездом, ч; $V_{кп}$ – объем кузова автомобиля и прицепа, м³; ρ_z – плотность зерна, т/м³; $K_{зк}$ – коэффициент заполнения кузова автомобиля и прицепа; $L_{езд}$ – длина транспортирования собранного урожая, км; Δv – снижение скорости движения на единицу приращения полного веса автопоезда, км/чН; $K_{зад} = 1/K_{дп}$ – коэффициент, характеризующий задержку по времени динамического воздействия прицепа; $K_{дп}$ – коэффициент динамического воздействия прицепа; $G_{авт}$ – вес автопоезда, Н; G_n – вес прицепа, Н.

При постоянной грузоподъемности автопоезда на величину изменения его производительности оказывает влияние скорость движения, которая снижается вследствие динамического воздействия прицепа, вызванного неравномерностью движения. Оценить воздействие прицепа на автомобиль с предлагаемым ТСУ можно коэффициентом динамического воздействия

$$K_{дн} = \sqrt{1 + \frac{2L_c C_n}{F_{пр}}}, \quad (21)$$

где $F_{пр}$ – суммарная сила сопротивления движению прицепа, Н.

В конструкции предлагаемого ТСУ установлен дополнительный пружинный элемент на тяговой петле прицепа, соответственно нарастание силы $F_{пр}$ будет задерживаться во времени прямо пропорционально величине деформации пружинного элемента с жесткостью C_n . Данное обстоятельство позволяет снизить крюковое усилие в ТСУ, тем самым создавая возможность увеличения скорости движения автопоезда и повышения его производительности, что демонстрирует графическая зависимость, представленная на рисунке 6.

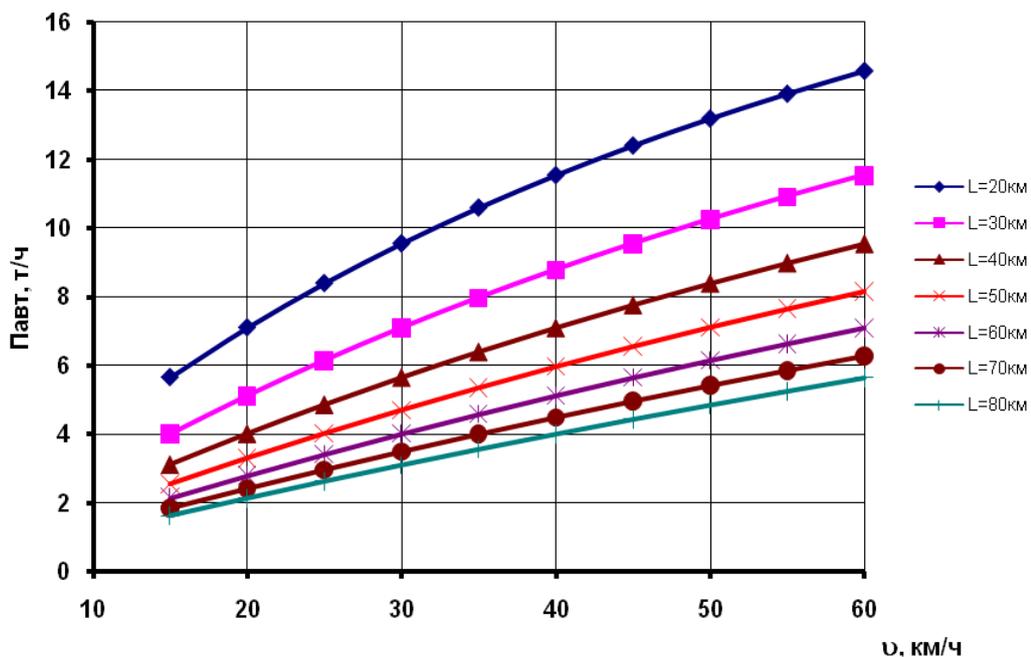


Рисунок 6 – Влияние дальности возки и скорости движения автопоезда КАМАЗ 5320+прицеп 8560-82-02 с предлагаемой конструкцией ТСУ на его производительность при движении по дороге с твердым покрытием

В итоге можно сделать заключение, что с целью повышения производительности уборочно-транспортного звена в процессе выполнения уборки зерновых культур процесс транспортировки зерна рекомендуется выполнять двумя способами:

первый – уборка и отгрузка из комбайна в автопоезд, транспортировка на ток и транспортировка на элеватор автопоездами с демпфирующими ТСУ.

второй – уборка, отгрузка из комбайна, транспортировка на элеватор автопоездами с демпфирующими ТСУ.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований автопоездов с демпфирующим и серийным ТСУ.

Полевые исследования автопоезда, состоящего из грузового автомобиля КАМАЗ-5320 с прицепом 8560-82-02, проводились согласно рекомендациям ГОСТ Р 52302–2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний» и ГОСТ 17460–72 «Транспортно-производственные процессы в механизированном сельскохозяйственном производстве. Классификация, оценка и методы расчета». В ходе исследований определялись расстояние и время переездов между зерноуборочным комбайном и местом складирования собранного урожая, время погрузки и разгрузки грузового автомобиля, масса погружаемого зерна; производились замеры крюкового усилия в тягово-сцепном устройстве, величин частоты и амплитуды колебаний при движении автопоезда по разным типам дорог. Измерения при проведении испытаний проводились тензометрическим способом с синхронной записью измеряемых величин: тягового усилия, скорости движения, частоты и амплитуды колебаний.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены экспериментальные данные, полученные в ходе полевых исследований выполнения уборочно-транспортных работ с применением автопоездов, состоящих из грузового автомобиля КАМАЗ-5320 с прицепом марки КАМАЗ модель 8560-82-02, оборудованным серийным ТСУ (серийный), или прицепом, имеющим в конструкции ТСУ дополнительный пружинный элемент (экспериментальный).

С целью определения потребного количества техники в уборочно-транспортном звене были проведены исследования, в ходе которых установлено: производительность комбайна СК-5 при урожайности озимой пшеницы 20,9 ц/га составила 5,4 т/ч, время загрузки бункера – в среднем 41 мин; для комбайна ДОН-1500 соответственно 10,3 т/ч и 28 мин.

Время одной ездки грузового автомобиля по грунтовой дороге на расстоянии от 2 до 8 км составило для автомобилей: ГАЗ-53 – 24–47 мин; КамАЗ-5320 – 28–53 мин; КАМАЗ-5320 + прицеп – 42–72 мин. На основании полученных данных была построена номограмма для определения количественного состава уборочно-транспортного звена (рисунок 7).

При проведении сравнительных испытаний автопоездов было установлено, что с увеличением скорости движения автопоезда происходит возрастание крюкового усилия во всех ТСУ (рисунок 8). При движении по дороге с асфаль-

товым покрытием автопоезда с экспериментальным ТСУ его крюковое усилие в среднем на 15,1 % меньше по сравнению с крюковым усилием серийного ТСУ. Аналогичная тенденция прослеживается при движении автопоезда по грунтовой дороге, тогда процент снижения крюкового усилия возрастает до 14,5 % .

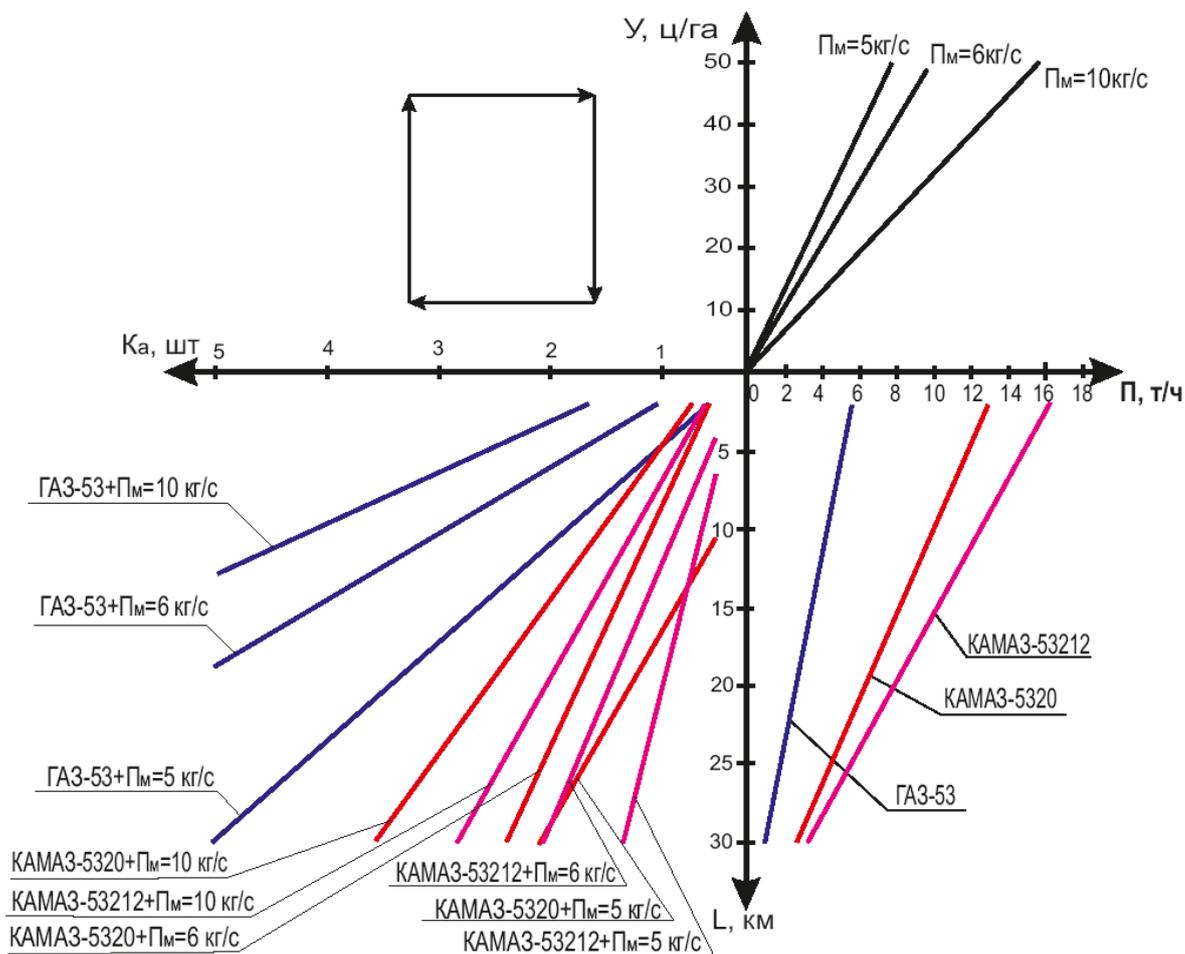


Рисунок 7 – Номограмма количественного состава уборочно-транспортного звена

Было установлено, что тип дороги оказывает сильное влияние на крюковое усилие в ТСУ. Так, при движении автопоездов по дороге с качественным асфальтобетонным покрытием (тип 1) крюковое усилие минимальное как у серийного, так и экспериментального ТСУ. Тогда как при движении по грунтовой дороге крюковое усилие возрастает по сравнению с дорогой 1-го типа у серийного ТСУ в 1,5 раза, а у экспериментального в 1,22 раза; при движении по асфальтобетонной дороге с выбоинами соответственно в 4 и 3,2 раза.

С целью определения влияния массы загрузки прицепа и скорости его движения на усилие, возникающее в ТСУ, были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых было установлено, что совокупное влияние скорости движения автопоезда и загруженности прицепа несколько выше, чем влияние отдельно взятых факторов. При этом тенденция влияния сохраняется, но величина их несколько возрастает, перемещая оптимальную область усилий в сторону снижения скорости на 4,1 % и загрузки на 2,3 %.

Амплитуда и частота колебаний, возникающих в ТСУ, являются основными характеристиками, оказывающими негативное воздействие на автомо-

биль и водителя. В ходе исследований было установлено, что величина амплитуды колебаний у экспериментального ТСУ составила 25,6 мм, у серийного ТСУ снизилась до 23,4 мм. При этом в зоне загрузки величина крюкового усилия в серийном ТСУ на 28,0 % больше, чем у экспериментального ТСУ. Область безопасных для водителя частот колебаний находится в диапазоне от 3,5 до 4,5 Гц, который в экспериментальном ТСУ достигается при крюковом усилии от 10 до 14 кН.

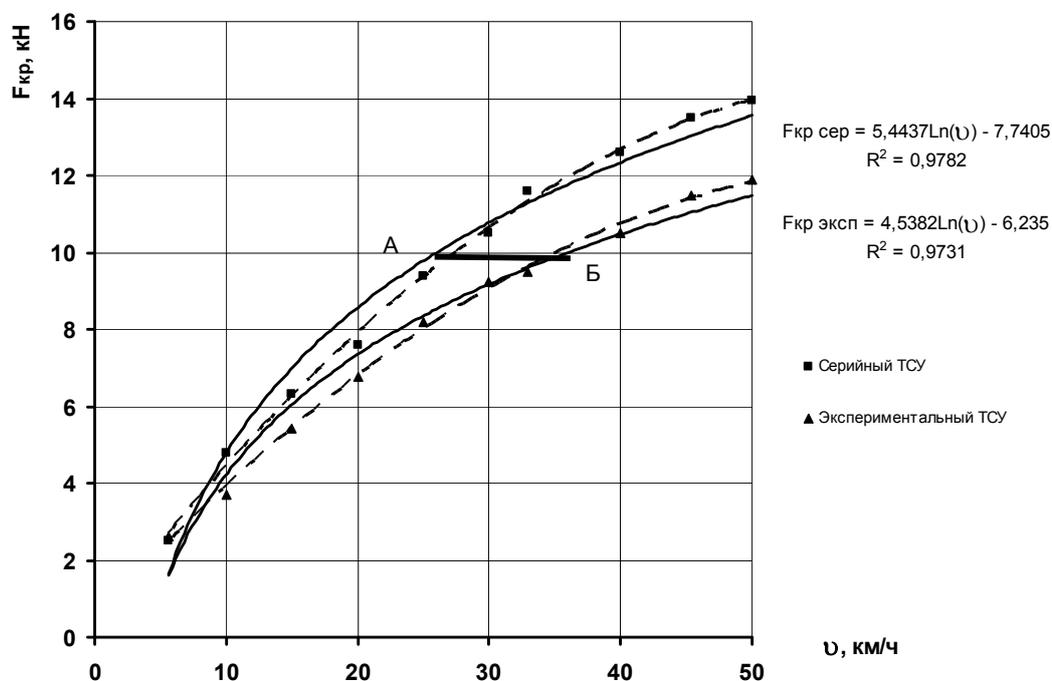


Рисунок 8 – Влияние скорости движения автопоезда по дороге с асфальтовым покрытием на величину крюкового усилия в ТСУ:

_____ – экспериментальная;

_____ – теоретическая.

Проведенный анализ производительности автопоезда (рисунок 9), показал, что с увеличением средней скорости движения автопоезда происходит повышение его производительности.

Сравнением производительности автопоездов при равной скорости движения было установлено, что при средней скорости движения 31 км/ч производительность автопоезда с экспериментальным ТСУ на 19,4 % выше, чем у автопоезда, оснащенного серийным ТСУ. Как видно, применение дополнительного пружинного элемента в конструкции экспериментального ТСУ позволяет повысить производительность автопоезда в среднем на 14,9 % по сравнению с автопоездом, оснащенный серийным ТСУ.

Таким образом, предлагаемое тягово-цепное устройство для автомобиля КАМАЗ с прицепом позволяет обеспечить тягово-цепные качества транспортного средства, снижение динамических нагрузок на его ходовую часть и трансмиссию при неустановившихся режимах движения путем гашения продольных резонансных колебаний прицепа и разделения моментов трогания грузового автомобиля и прицепа.

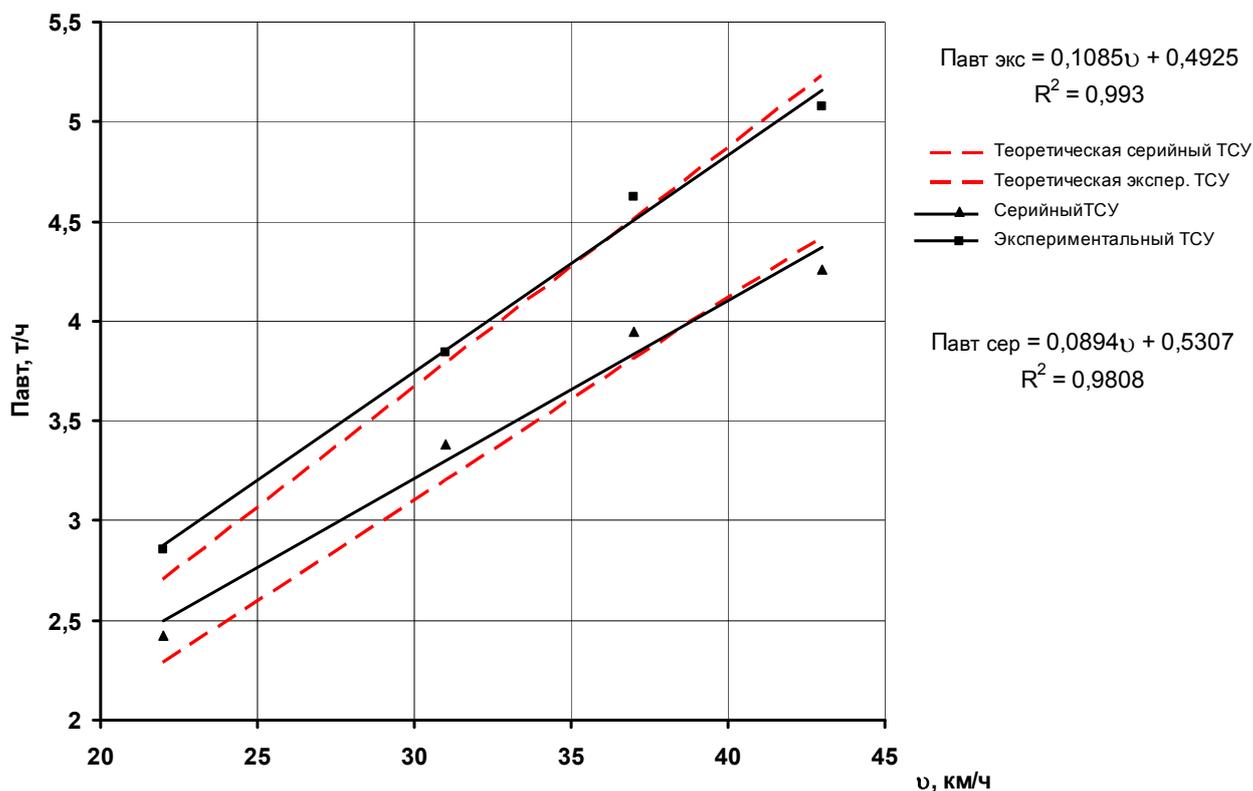


Рисунок 9 – Влияние скорости движения автопоезда на его производительность при транспортировке собранного урожая на расстояние 81 км

В пятой главе «Экономическая эффективность использования усовершенствованного тягово-сцепного устройства автопоездов в МТС Республики Дагестан» разработана трехсторонняя математическая модель взаимоотношений между сельхозтоваропроизводителем, уборочно-транспортным звеном машинно-технологической станции и элеватором.

Экономический расчет применения демпфирующего ТСУ на одном автопоезде показал, что себестоимость перевозки груза снизилась на 10,9 %, при этом годовой экономический эффект составил 316883 руб. для одного автопоезда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам анализа деятельности АПК Республики Дагестан разработана структура уборочно-транспортных звеньев, обоснован их рациональный состав с применением для транспортировки зерна на дальние расстояния автопоездов с демпфирующими тягово-сцепными устройствами, оборудованными дополнительными пружинными элементами, оказывающими значительное влияние на динамику движения автопоезда, его скоростные характеристики и производительность.

2. Теоретически обоснован рациональный состав уборочно-транспортного звена для усовершенствованного технологического процесса транспортировки зерна, учитывающий производительность комбайна и автопоезда, оборудованного демпфирующим тягово-сцепным устройством (ТСУ), способствующим

повышению скорости движения. Получены аналитические зависимости времени ездки (8) и производительности грузового автомобиля и автопоезда (20) от скорости движения. Обосновано снижение крюкового усилия в ТСУ (14) и повышение скорости движения автопоезда с учетом коэффициента задержки воздействия прицепа на грузовой автомобиль (21) и коэффициента снижения скорости движения (6).

3. Выведены аналитические зависимости движения автопоезда, состоящего из грузового автомобиля КАМАЗ-5320 и прицепа 8560-82-02 с тягово-сцепным устройством с дополнительным пружинным элементом, установленным на прицепе (патент 137237), определены геометрические параметры пружинного элемента в зависимости от типа дороги и общей массы прицепа:

– внутреннее кольцо: внутренний диаметр $d_{\text{ов}} = 63$ мм, наружный диаметр $d_{\text{он}} = 78$ мм, толщина стенки $\delta = 5$ мм, ширина кольца $S = 25$ мм, угол наклона конуса кольца $\alpha = 19$ град;

– внешнее кольцо: внутренний диаметр $d_{\text{ов}} = 63$ мм, наружный диаметр $d_{\text{он}} = 80$ мм, толщина стенки $\delta = 5$ мм, ширина кольца $S = 25$ мм, угол наклона конуса кольца $\alpha = 19$ град.

4. Проведены экспериментальные исследования автопоезда с предлагаемой конструкцией ТСУ, в ходе которых было установлено, что наличие дополнительного пружинного элемента на прицепе автопоезда позволяет снизить усилие, возникающее в ТСУ, по сравнению с серийным ТСУ до 14,2 % при движении по дороге с асфальтобетонным покрытием, что позволяет повысить скорость передвижения автопоезда с 22 до 36 км/ч. Это позволило повысить производительность автопоезда с экспериментальным ТСУ в среднем на 14,9 % по сравнению с серийным ТСУ. Для достижения амплитуды и частоты колебаний соответственно 30 мм и 4,5 Гц необходимо осуществлять предварительное поджатие пружины, установленной на прицепе, в пределах 6–8 кН.

5. Исследования эффективности применения демпфирующего ТСУ при транспортировке зерна в условиях Республики Дагестан показали, что себестоимость перевозки груза снизилась на 10,9 %, при этом годовой экономический эффект от внедрения ТСУ составил 316883 руб. для одного автопоезда.

Рекомендации производству

1. В сельскохозяйственных предприятиях Республики Дагестан рекомендуется внедрять разработанную технологию выполнения уборочно-транспортных работ с транспортированием собранного урожая автопоездами;

2. При использовании автопоезда необходимо его оснащать тягово-сцепным устройством с дополнительным пружинным элементом, которое позволяет повысить производительность автопоезда за счет снижения динамического воздействия прицепа на автомобиль и увеличения скорости движения.

Перспектива дальнейшей разработки темы

– разработать и теоретически обосновать автоматизированную систему управления выполнения уборочно-транспортных работ с применением автопоездов;

– разработать и теоретически обосновать унифицированное ТСУ для автопоездов с целью повышения их производительности и снижения энергоемкости.

Основные результаты исследований опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Игитов, Ш. М. Модель взаимоотношений между МТС и сельхозтоваропроизводителем [Текст] / Ш. М. Игитов, С. Р. Хабибов // Научное обозрение. – 2013. – № 3. – С. 225–228.

2. Игитов, Ш.М. Теоретические основы применения пружинного тягово-сцепного устройства прицепа для автопоездов [Текст] / Ш. М. Игитов, С. Р. Хабибов // Проблемы развития АПК региона. – 2013. – № 2. – С. 117–119.

3. Игитов, Ш. М. Теоретические основы комплектования уборочно-транспортного звена машинно-технологических станций [Текст] / Ш. М. Игитов // Научное обозрение. – 2013. – № 9. – С. 54–57.

4. Патент на полезную модель 135589 Российская Федерация, МПК В 60 D 1/00 ; Тягово-сцепное устройство автотракторного поезда / Игитов Ш. М., Хабибов С. Р., Безруков А. С., Русинова И. Н. ; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова». – № 2013134658/11, заявл. 23.07.2013; опубл. 20.12.2013.

5. Патент на полезную модель 137237 Российская Федерация, МПК В 60 D 1/00 ; Сцепное устройство прицепа / Игитов Ш. М., Хабибов С. Р., Безруков А. С., Русинова И. Н. ; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова». – № 201319171/11, заявл. 22.08.2013; опубл. 10.02.2014.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций

6. Игитов, Ш. М. Логистика в сельскохозяйственном производстве [Текст] / Ш. М. Игитов // Основы рационального природопользования : материалы II Международной научно-практической конференции. – Саратов : Изд. центр «Наука», 2009. – С. 306–308.

7. Игитов, Ш. М. Факторы, влияющие на работу машинно-тракторного парка в производстве [Текст] / Ш. М. Игитов // Инновации, наука и образование : материалы Международной научно-практической конференции : сб. науч. работ. – Саратов : Изд-во «КУБиК», 2010. – С. 117–119.

8. Игитов, Ш. М. Моделирование состава машинно-тракторного парка машино-технологической станции [Текст] / Ш. М. Игитов., С. Р. Хабибов // «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства»: материалы Международной научно-практической конференции. – Часть IV. Технология и средства механизации в природообустройстве. – М. : ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – С. 182–190.

9. Игитов, Ш. М. Моделирование грузопотока и состава машинно-тракторного потока при проведении уборочной операции [Текст] / Ш. М. Игитов., С. Р. Хабибов // Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию Победы в Великой Отечественной войне «Современные проблемы и перспективы развития аграрной науки». – Махачкала : ДГСХА, 2010. – Часть 1. – С. 307–309.

10. Игитов, Ш. М. Условия востребованности продукции АПК в Республике Дагестан [Текст] / Ш. М. Игитов., С. Р. Хабибов // Материалы III Между-

народной научно-практической конференции «Основы рационального природопользования». – Саратов : Саратовский источник, 2011. – С. 501–504.

11. Игитов, Ш. М. Определение времени ездки грузового транспорта при выполнении уборочных операций в условиях машинно-технологических станций [Текст] / Ш. М. Игитов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора Рыбалко А. Г. : сб. науч. работ. – Саратов : Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 154–157.

12. Игитов, Ш. М. Определение параметров функционирования комплекта машин машинно-технологических станций [Текст] / Ш. М. Игитов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова «Аграрная наука : современные проблемы и перспективы развития». – Махачкала : ДГСХА, 2012. – Часть 2. – С. 218–221.

13. Игитов, Ш. М. Повышение эффективности эксплуатации машинно-тракторного парка машинно-технологических станций [Текст] / Ш. М. Игитов, С. Р. Хабибов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова «Аграрная наука : современные проблемы и перспективы развития». – Махачкала : ДГСХА, 2012. – Часть 2. – С. 221–224.

14. Игитов, Ш. М. Обоснование количественного состава машин при выполнении транспортно-уборочных работ [Текст] / Ш. М. Игитов., С. Р. Хабибов // *Materiály VIII Miedzynarodowej naukowo-practycznej konferencji «Wykształcenie i nauka bez granic – 2012»* Przemysl. – Nauka i studia. – С. 70–72.

15. Игитов, Ш. М. Теоретические основы процесса демпфирования тягово-сцепного устройства автопоездов [Текст] / Ш. М. Игитов // *Materiály X mezinárodní vědecko-praktická konference «Věda a vznik – 2013/2014»*. – Díl 32. *Zemědělství.*: Praha : Publishing House «Education and Science», 2013. – С. 14–17.