

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Кафедра «Автоматизация и энергетическое машиностроение»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)
«СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА
ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ»

по направлению 15.06.01 «Машиностроение»

научная направленность: «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные
машины»

Аспирант



Кашапова Ирина Евгеньевна

Допустить к защите научного доклада:

Заведующий кафедрой «АиЭМ»



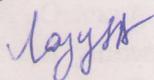
к.т.н., доцент Р.Ю. Сухарев

Научный руководитель



д.т.н., проф. В.С. Щербаков

Нормоконтроль



к.т.н., доцент И.В. Лазута

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования:

Отрасль машиностроения непрерывно совершенствуется, что отражается в росте производительности, мощности и скорости движения землеройно-транспортных машин (ЗТМ). Вместе с этим увеличиваются вибрации, которые возникают в узлах машины и на рабочем месте человека-оператора (ЧО).

Значительные вибрации сокращают срок службы трансмиссии и других узлов, снижают не только эффективность работы, но и надежность машин. Вибрации также негативно сказываются и на здоровье ЧО, в некоторых случаях могут приводить к профессиональным заболеваниям.

При строительстве дорог широкое распространение среди землеройно-транспортных и планировочных машин находят автогрейдеры. Существенное место в цикле работы автогрейдера занимает транспортный режим. Основной источник вибраций в транспортном режиме – возмущающее воздействие на элементы ходового оборудования со стороны микрорельефа.

Системы подавления вибраций играют важную роль при решении вопросов повышения производительности автогрейдеров, совершенствования их систем защиты ЧО от негативных воздействий во время рабочего процесса. Основной особенностью автогрейдеров, в отличие от большинства наземных машин, является отсутствие амортизаторов. Улучшение виброизоляции ЧО автогрейдера достигается в основном за счет оптимизации системы крепления кабины на базовом шасси и сиденья ЧО в кабине.

Одним из перспективных направлений в создании виброзащитных механизмов является создание сидений со статической характеристикой, имеющей участок квазинулевой жесткости. Применяются в основном активные виброзащитные системы, но их использование ограничивается сравнительно большой сложностью и стоимостью.

Таким образом актуальной остается проблема снижения динамических воздействий на ЧО и одним из эффективных способов является создание виброзащищенных сидений на основе надежных и простых пассивных конструкций, с квазинулевой статической характеристикой.

Степень разработанности темы исследования.

Исследованию автогрейдеров посвящены работы Т. В. Алексеевой, И. В. Бояркиной, Ю. Е. Ионовой, А. А. Портновой, В. Н. Тарасова, П. Ю. Скуба, В. С. Щербакова и др.

Вопросами защиты операторов от действия вибрации занимались многие отечественные ученые: П.М. Алабужев, В.Л. Афанасьев, В.В. Бабенков, В.Я. Балагула, С.В. Белокобыльский, Д.М. Белый, В.В. Болотин, Р.С. Большаков, К.Ч. Выонг, М.М. Гайцгори, В.Н. Говердовский], А.И. Громовик, А.И. Джилкичиев, С.В. Елисеев, Ю.В. Ермошенко, И.Ю. Ефимов, М.М. Жилейкин, А.В. Зобов, А.Н. Зотов, О.П. Ивакина, В.А. Ивович, В.Б. Кашуба, М.З Козловский, Е.А. Колинько, П.А. Корчагин, А.О. Лисин, И.И. Малахов, Е.Ю. Малиновский, А.С. Миронов, В.А. Остроменская, П.И. Остроменский, Г.Я. Пановко, О.А. Петракова, А.Н. Пивцаев, Ю.О. Пронина, А.А. Силаев, И.И. Силаев, И.С. Ситов, В.Н. Сорокин, А.И. Степанов, В.В. Столяров, И.А. Тетерина, О.В. Фоминова, К.В. Фролов, А.А. Хачатуров, А.П. Хоменко, И.А. Чакурин, П.М. Челомей, В.И. Чернышев, Э.И. Шелепов, В.С. Щербаков и др.

Среди организаций следует отметить: ВНИИ Стройдормаш, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Уфимский государственный нефтяной технический университет, Южно-Уральский государственный университет, Новосибирский государственный технический университет, Омский государственный университет путей сообщения, Новосибирский электротехнический университет связи им. Псурцева, Иркутский государственный университет путей сообщения, Сибирскую государственную академию телекоммуникаций и информатики, Ульяновский государственный технический университет, Омский государственный технический университет и др.

Особый интерес к проблемам виброзащиты проявляют и зарубежные авторы: Zhang Xiaojiang, Yan Zhenhua, Li Taoyong, Li Haochuan, Li Donghai, Zhao shougen, he Yujin, Li Tao, Hu Jianzhong и многие др.

Цель исследования:

Снижение динамических воздействий на ЧО автогрейдера путем разработки виброзащитной системы (ВС) сиденья с квазинулевой статической характеристикой.

Задачи исследования:

1. Обосновать подход к созданию ВС сиденья ЧО с квазинулевой статической характеристикой.
2. Разработать обобщенную математическую модель процесса движения автогрейдера по микрорельефу.
3. Установить функциональные зависимости и связь между основными параметрами системы: конструктивными размерами, возмущающими воздействиями и уровнем вибрации на рабочем месте ЧО автогрейдера.
4. Разработать инженерную методику оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазинулевой статической характеристикой.

Область исследований соответствует пунктам 5 «Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств, в том числе в их узлах, механизмах, системах и технологическом оборудовании при взаимодействии с опорной поверхностью и с рабочими средами (объектами)» и 6 «Оптимизация конструкций и синтез законов управления движением наземных транспортно-технологических средств и их комплексов, а также их отдельных функциональных узлов, механизмов и систем, направленные на улучшение экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, технологической производительности, обеспечение энергоэффективности и безопасности» паспорта специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

Объект исследования: динамические воздействия на ЧО автогрейдера в транспортном режиме.

Предмет исследования: зависимости, связывающие параметры элементов системы виброзащиты, параметры воздействий со стороны микрорельефа опорной поверхности с величиной вибрации на сидении ЧО автогрейдера в транспортном режиме.

Научная новизна заключается:

- в научном подходе формирования участка квазинулевой жесткости статической силовой характеристики ВС сиденья ЧО;
- в обосновании способа подстройки ВС сиденья под переменную массу ЧО;
- в разработанной математической модели ВС сиденья ЧО;
- в разработанной имитационной модели сложной динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО»;
- в выявленных функциональных зависимостях, связывающих конструктивные размеры, возмущающие воздействия с уровнем вибрации на рабочем месте ЧО автогрейдера;
- в разработке методики оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазинулевой статической характеристикой.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. На основе анализа виброзащитных мероприятий ЗТМ разработаны новые высокоэффективные конструкции ВС сидений, которые защищены патентами на изобретение и на полезные модели РФ (см. раздел «Патенты и свидетельства»).
2. Научно обоснованы обладающие новизной инженерные разработки ВС сидений с квазинулевой статической характеристикой. Применение полученных результатов позволило минимизировать вибрации на рабочем месте ЧО автогрейдера.
3. Разработана инженерная методика оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазинулевой статической характеристикой.

Методология и методы исследования: Работа базируется на методологии системного анализа: использован комплексный метод исследований, который включил в себя литературный и патентный поиск, анализ и обобщение, теоретические и экспериментальные исследования,

математическое моделирование. Использовано программное обеспечение MATLAB (в том числе приложение Simulink).

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая и имитационная модели рабочего процесса сложной динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО».
2. Результаты теоретических исследований имитационной модели рабочего процесса сложной динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО».
3. Инженерные решения ВС сиденья ЧО с квазиулевым статической характеристикой.
4. Инженерная методика оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазиулевым статической характеристикой.

Степень достоверности исследования: Обосновывается на основании корректных допущений, принятых при математическом моделировании; использовании апробированных методов математического моделирования и программных продуктов; подтверждении адекватности результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы

Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на: II, III, IV, V Национальных научно-практических конференциях «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство», Омск: 2019-2022г.; III, IV, V, VI Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных», Омск: 2019-2022 г.; V Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей», Омск: 2020 г.; IV, V, VI Международных научно-технических конференциях «Проблемы машиноведения», Омск: 2020-2022 г.; V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск: 2020; VI Межведомственная научно-практическая конференция «Транспортные средства специального назначения: разработка, производство и модернизация», Омск: 2022 г.; IV, VI Международных научно-практических конференциях «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации», Омск: 2019, 2021 г.; XIV, XV Международных научно-технических конференциях «Динамика систем, механизмов и машин», Омск: 2020-2021 г.

Публикации по работе. По материалам исследований опубликовано 52 печатных работы, из них 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 8 статей в изданиях, включенных в международную базу «Scopus», 1 патент РФ на изобретение, 5 патентов РФ на полезную модель, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Представлена краткая характеристика работы.

В первой главе проведен обзор и анализ причин и источников вибраций. Отмечены последствия ее длительного воздействия на организм ЧО. Проведен анализ санитарных норм и ГОСТов, которые предъявляются к виброзащите ЧО наземных машин. Рассмотрены основные тенденции развития автогрейдеров. Проведен анализ существующих конструкций сидений, их подвесок и упругих элементов, используемых в подвесках сидений. Рассмотрен способ формирования квазиулевого статической характеристики ВС сиденья. Обоснован научный подход к достижению поставленной цели и решению задач исследований, суть которого заключается в формировании квазиулевого участка статической характеристики виброзащитной системы за счет стабилизации момента силы вращения. Проведен анализ математических моделей микрорельефа и автогрейдера. Составлена блок-схема процесса передачи динамических воздействий при движении автогрейдера по микрорельефу (рис. 1). Сформулированы цель и основные задачи исследований.

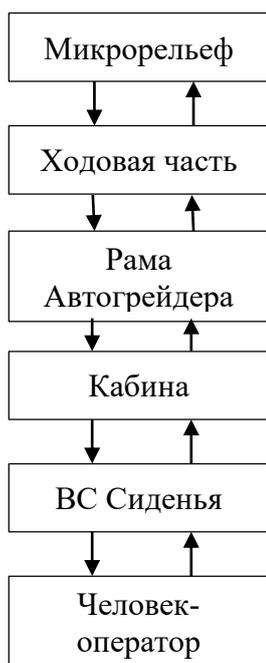


Рис. 1. Блок-схема процесса передачи динамических воздействий при движении автогрейдера по микрорельефу

Однако при разработке инженерной методики в качестве критерия эффективности был использован наиболее распространенный стохастический критерий – среднеквадратичное значение виброускорения a_s на рабочем месте ЧО, которое должно соответствовать требуемым санитарным нормам по критерию «безопасность», установленным ГОСТом 12.1.012-90:

$$a_s = \sqrt{\frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} a^2(t) dt} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где a – среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения как функция времени, мс^{-2} ; T_n – нормативная продолжительность рабочей смены (8 часов).

В работе использованы три типа динамических воздействий: единичные ступенчатые, синусоидальные и случайные.

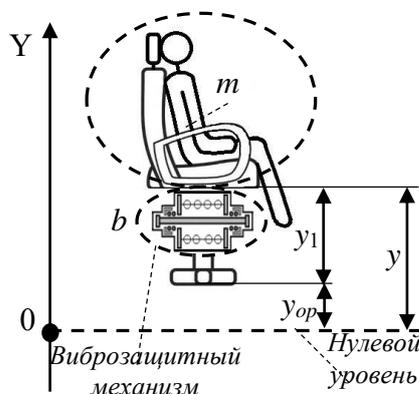


Рис. 2. Расчетная схема ВС сиденья оператора с одинаковым диапазоном перемещений

Во второй главе представлена общая методика исследований, базирующаяся на методологии системного анализа. Комплексный метод исследований предполагал проведение как теоретических, так и экспериментальных исследований. В работе использована методология пассивного и активного эксперимента. Математическое моделирование сложной динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО» реализовано с помощью программного продукта MATLAB.

Для подтверждения адекватности математической модели и уточнения численных значений параметров системы использовался активный эксперимент.

С помощью пассивного эксперимента оценивалась работоспособность и эффективность предложенных инженерных разработок, определялись характер и величина возмущающих воздействий на рабочем месте ЧО.

Определены основные этапы и структура работы в соответствии с целью и задачами исследования.

В третьей главе обоснован критерий эффективности ВС сиденья ЧО.

В процессе работы были использованы различные показатели, характеризующие динамические воздействия.

В качестве примера приведем результат одного эксперимента. Основание совершает заданные синусоидальные перемещения (рис. 2), которые выражаются временной зависимостью:

$$y_{op} = A_{mp} \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (2)$$

где A_{mp} – амплитуда заданных колебаний основания сиденья; $\omega = 2\pi/T_o$ – угловая (круговая) частота колебаний основания, рад/с; T_o – период колебаний основания, с.

Перемещения y_1 , y_{op} и y связаны между собой очевидной зависимостью (рис. 2):

$$y = y_1 + y_{op}. \quad (3)$$

На рисунке 3 в качестве примера приведены результаты запуска отдельного имитационного моделирования для формирования синусоидального воздействия. В данном вычислительном эксперименте параметры воздействия принимали следующие значения: $A_{mp}=0,02$ м; $T_o=4$ с.

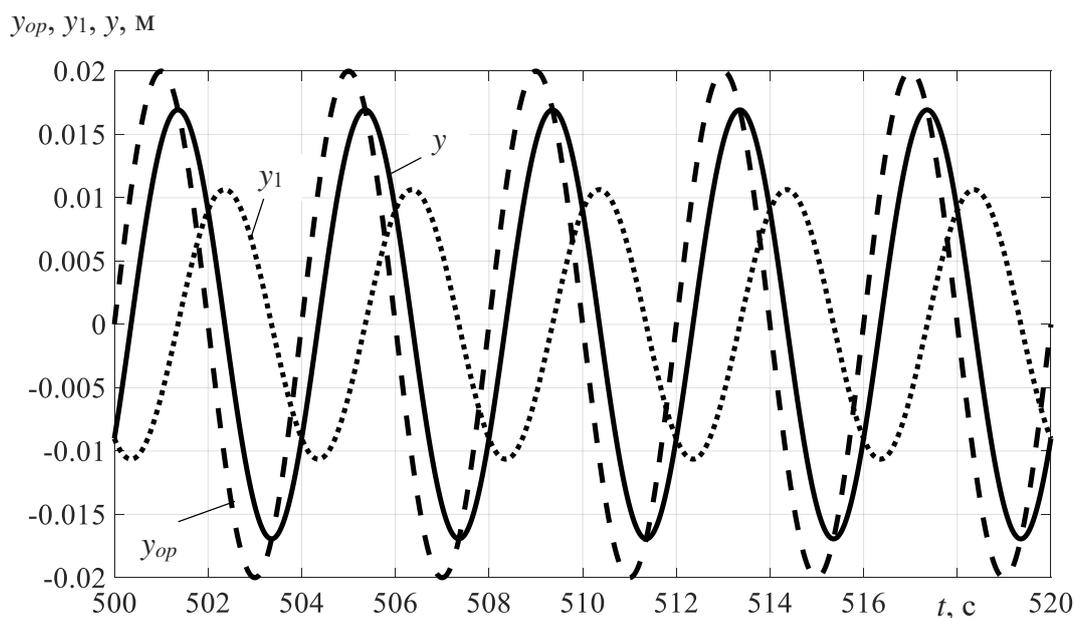


Рис. 3. Вертикальные координаты y_{op} , y_1 , y (пример)

Моделирование случайных неровностей микрорельефа осуществлялось с использованием программного продукта MATLAB, при помощи М-файла. Блок-схема алгоритма формирования неровностей микрорельефа представлена на рисунке 4.

На рисунке 5 в качестве примеров приведены фрагменты реализации стохастической модели микрорельефа.

В ходе работы были приняты следующие допущения:

- система голономна и стационарна;
- автогрейдер представлен как пространственная разветвленная кинематическая цепь с наложенными на нее упруго-вязкими динамическими связями;
- связи, наложенные на колебательную систему, являются телами Фохта;
- отсутствуют люфты в шарнирах;
- отсутствуют силы сухого трения;
- элементы ходового оборудования постоянно контактируют с опорной поверхностью;
- звенья расчетной схемы представлены, как абсолютно жесткие стержни с сосредоточенными массами;
- машина движется с постоянной скоростью.

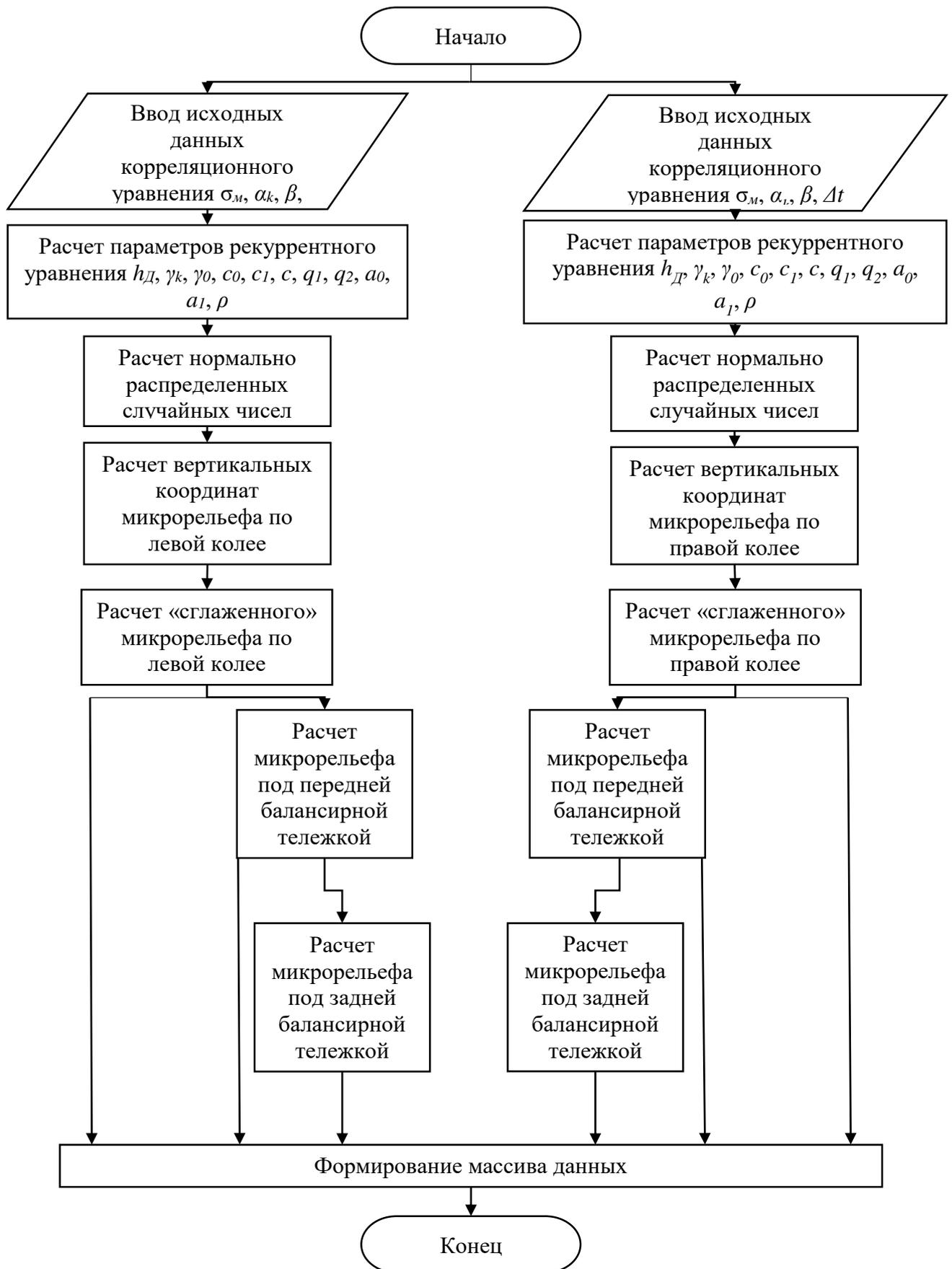


Рис.4. Блок-схема алгоритма формирования микро рельефа

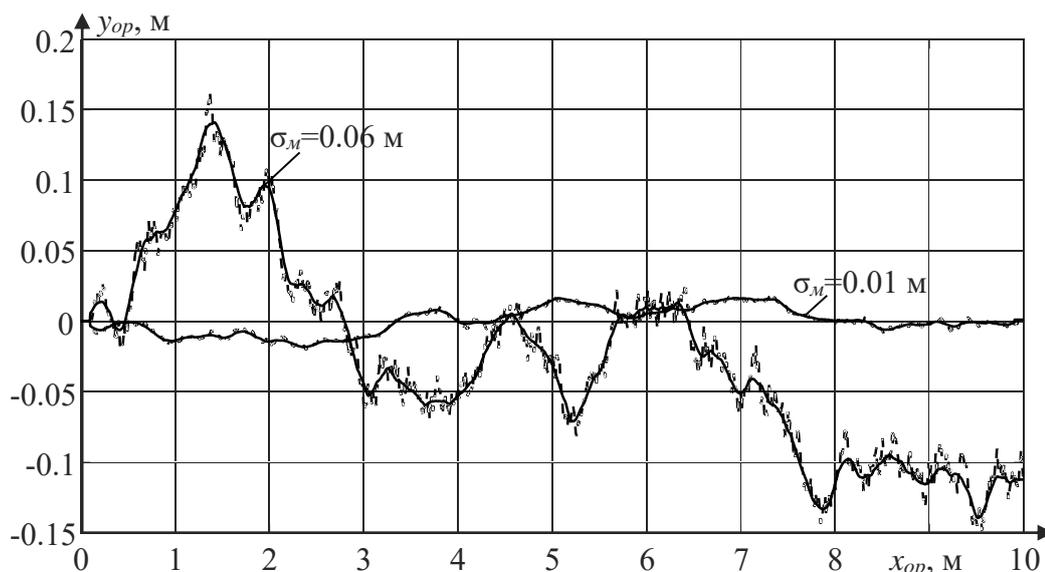


Рис. 5. Стохастические профили микрорельефа опорной поверхности при $\sigma_M=0.01$ м и $\sigma_M=0.06$ м: - - - не осредненные профили; — осредненные по пятну контакта шины профили (примеры)

Координаты центров масс звеньев заданы векторами в соответствующих локальных системах координат (СК).

Координаты верхних точек упруго-вязких связей (УВС) передней оси заданы векторами в СК $0_2X_2Y_2Z_2$. Координаты нижних точек заданы векторами в СК нулевой плоскости.

Координаты верхних точек УВС правого балансира заданы векторами в СК $0_3X_3Y_3Z_3$. Координаты нижних точек – векторами в СК нулевой плоскости.

Координаты верхних точек УВС левого балансира заданы векторами в СК $0_4X_4Y_4Z_4$. Координаты нижних точек – векторами в СК нулевой плоскости.

Координаты нижних точек УВС кабины заданы векторами в СК рамы автогрейдера $0_1X_1Y_1Z_1$. Координаты верхних точек – векторами в СК кабины $0_5X_5Y_5Z_5$.

Координаты УВС сиденья ЧО $0_6X_6Y_6Z_6$ заданы вектором в СК кабины $0_5X_5Y_5Z_5$.

Расчетная схема автогрейдера, как динамической системы, представлена на рисунке 6, звеньям которой поставлены в соответствие шесть локальных СК.

Параметры УВС в расчетной схеме автогрейдера представлены следующим образом: $c_{s1}, c_{s2}, c_{s8} \dots c_{s11}$ и $b_1, b_2, b_8 \dots b_{11}$, соответственно – коэффициенты жесткости и вязкости элементов ходового оборудования; $R_1 \dots R_6$ – реакции со стороны грунта, величины которых определяются вертикальными координатами микрорельефа по левой и правой колеям; $c_{s3} \dots c_{s6}$ и $b_3 \dots b_6$, соответственно – коэффициенты жесткости и вязкости элементов подвески кабины; c_{s7}, b_7 – соответственно коэффициенты жесткости и вязкости сиденья ЧО.

Вертикальные координаты под колёсами (м): $y_{11}(t)$ – переднее правое колесо; $y_{12}(t)$ – переднее левое колесо; $y_{31}(t)$ – переднее колесо правого балансира; $y_{32}(t)$ – заднее колесо правого балансира; $y_{41}(t)$ – переднее колесо левого балансира; $y_{42}(t)$ – заднее колесо левого балансира.

Обобщенные координаты расчетной схемы автогрейдера представлены в таблице 1.

Математическая модель динамической подсистемы «базовая машина – кабина» составлена с использованием метода уравнений Лагранжа второго рода и представляет собой систему из 13 дифференциальных уравнений (ДУ) второго порядка с переменными коэффициентами, являющимися функциями больших значений обобщенных координат и конструктивных параметров

$$m_i \cdot a_{si} + b_{hi} \cdot v_i + c_{si} \cdot q = Q, \quad (4)$$

где m_i, b_{hi}, c_{si} – коэффициенты ДУ, соответственно, масса элемента, кг; коэффициент вязкого трения амортизатора, Н/(м/с); коэффициент жесткости пружины, Н/м; a_{si}, v_i, q – значения

соответственно ускорения, скорости и обобщенных координат; Q – внешние силы, действующие по обобщенным координатам.

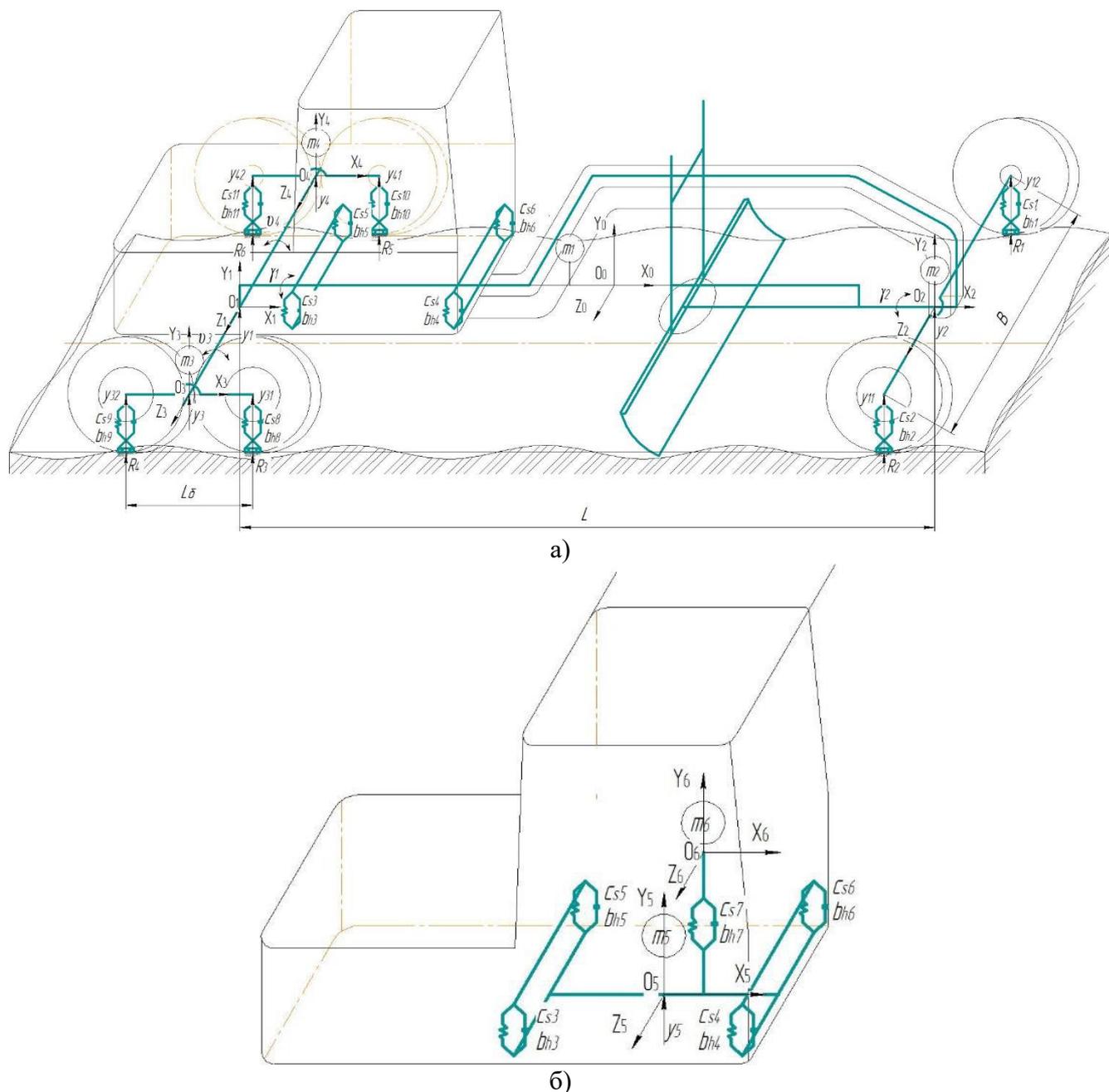


Рисунок 6 – Расчетная схема динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО»: а) автогрейдер; б) кабина автогрейдера (упрощенно)

На рис. 7 представлена расчетная схема ВС сиденья ЧО на основе параллелограммного механизма, с помощью которой реализован эффект квазинулевой жесткости в средней части статической характеристики (рис. 8). Трос механизма, растянутый при помощи пружины растяжения, постоянно огибает ролики в точках 1, 2 и закреплен в точке 4. Вне зоны квазинулевой жесткости – огибает также ролик в точке 3 (или 3'), что обеспечивает возрастание и убывание значения силы в левой и правой частях статической характеристики соответственно. То есть, ограничиваются вертикальные перемещения сиденья без использования дополнительных пружин или отбойников.

Таблица 1 – Описание обобщенных координат автогрейдера

№	Обобщенные координаты	Описание обобщенной координаты
1	$y_1(t)$	вертикальная координата центра задней оси (точка O_1) отсчитывается от нулевой плоскости Земли, м;
2	$\nu_1(t)$	угол поворота СК $O_1X_1Y_1Z_1$ в продольной вертикальной плоскости (тангаж автогрейдера), поворот вокруг оси Z_0 , град или рад;
3	$\gamma_1(t)$	угол поворота СК $O_1X_1Y_1Z_1$ в поперечной вертикальной плоскости (крен автогрейдера), поворот вокруг оси X_0 , град или рад;
4	$y_2(t)$	вертикальная координата центра передней оси (точка O_2) отсчитывается от нулевой плоскости Земли, м;
5	$\gamma_2(t)$	угол поворота СК $O_2X_2Y_2Z_2$ вокруг оси X_1 , град или рад;
6	$y_3(t)$	вертикальная координата центра правой балансирной тележки (точка O_3) отсчитывается от нулевой плоскости Земли, м;
7	$\nu_3(t)$	угол поворота СК $O_3X_3Y_3Z_3$ вокруг оси Z_1 , град или рад;
8	$y_4(t)$	вертикальная координата центра левой балансирной тележки (точка O_4) отсчитывается от нулевой плоскости Земли, м;
9	$\nu_4(t)$	угол поворота СК $O_4X_4Y_4Z_4$ вокруг оси Z_1 , град или рад;
10	$y_5(t)$	вертикальная координата центра масс кабины (точка O_5) отсчитывается в СК рамы $O_1X_1Y_1Z_1$, м;
11	$\nu_5(t)$	угол поворота СК кабины $O_5X_5Y_5Z_5$ вокруг оси Z_1 , град или рад;
12	$\gamma_5(t)$	угол поворота СК кабины $O_5X_5Y_5Z_5$ вокруг оси X_1 , град или рад;
13	$y_6(t)$	вертикальная координата центра масс сиденья (точка O_6) отсчитывается в СК кабины $O_5X_5Y_5Z_5$, м;

Сумма моментов сил определялась относительно точки 0 поворота нижнего подвижного звена параллелограммного механизма. На рисунке 7 приняты следующие обозначения: m_6 – масса виброзащищаемого объекта (сиденья с ЧО); P_v – вертикально направленная возвращающая сила виброзащитного механизма, Н; α – текущий угол подъема верхнего и нижнего звеньев параллелограммного механизма относительно горизонтальной оси OX ; h_g – высота подъема/опускания рабочей точки относительно нулевого уровня, м; h_{qz} – высота зоны квазиулевой жесткости (средней части характеристики); L_1 – длина верхнего и нижнего звеньев параллелограмма; y_r – длина левого и правого боковых звеньев параллелограмма; γ_k – угол между отрезком троса между точками 1 и 2, и левым боковым звеном параллелограммного механизма при прямоугольной форме последнего; α_3 – постоянное абсолютное значение угла между осью OX и прямой $O3$ ($O3'$); L_h – длина плеча действия вертикально направленной возвращающей силы виброзащитного механизма, м; a, n – расстояния до двух точек крепления вращающихся роликов, расположенных соответственно на неподвижном и нижнем звеньях виброзащитного механизма, относительно левой нижней точки качания механизма, м; L_{s0} – равновесная длина (в свободном состоянии) пружины растяжения, м; L_s – текущая длина пружины растяжения; c_{s7} – линейная жесткость пружины растяжения; dL_{snom} – деформация пружины растяжения относительно собственной свободной длины L_{s0} , соответствующая прямоугольной форме параллелограммного механизма и его номинальной подъемной силе; P_s – сила растяжения пружины, Н; $L_{12}, L_{23}, L_{34}, L_{24}$ – расстояния между соответствующими индексам точками механизма, через которые проходит трос; h_{12}, h_{23}, h_{34} – плечи действия силы растяжения троса, действующей вдоль соответствующих отрезков, относительно точки 0 механизма; M_{12}, M_{23}, M_{34} – моменты, создаваемые силой растяжения троса, действующей вдоль соответствующих отрезков, относительно точки 0 механизма; b_{h7} – коэффициент вязкого трения амортизатора.

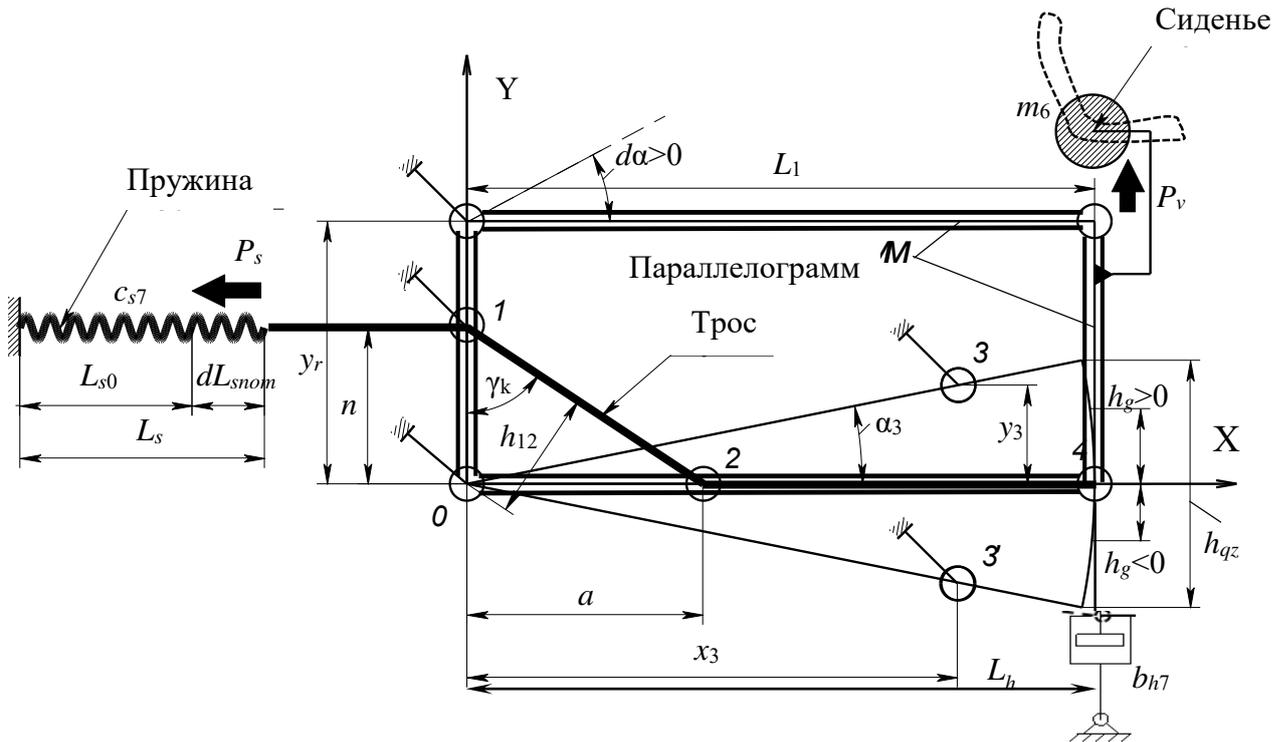


Рис. 7. Расчетная схема ВС сиденья

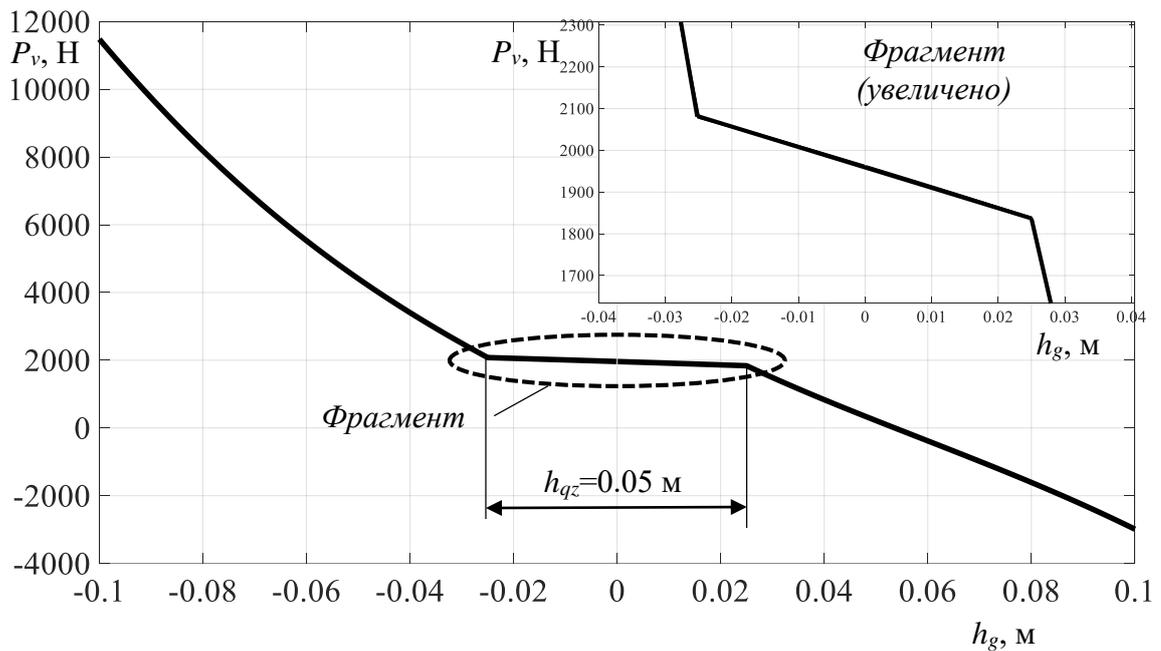


Рис. 8. Статическая силовая характеристика предложенного механизма (пример)

Для любого положения механизма может быть определена создаваемая им вертикальная сила:

$$P_v = \frac{M_\Sigma}{L_h}. \quad (5)$$

В качестве примера представлена статическая характеристика (рис. 8) с исходными данными: $n=0.1$ м, $a=0.1$ м, $L_1=0.5$ м, $y_r=0.1$ м, $x_3=0.1$ м, $h_{qz}=0.05$ м, $m_6=200$ кг, $c_{s7}=200000$ Н/м.

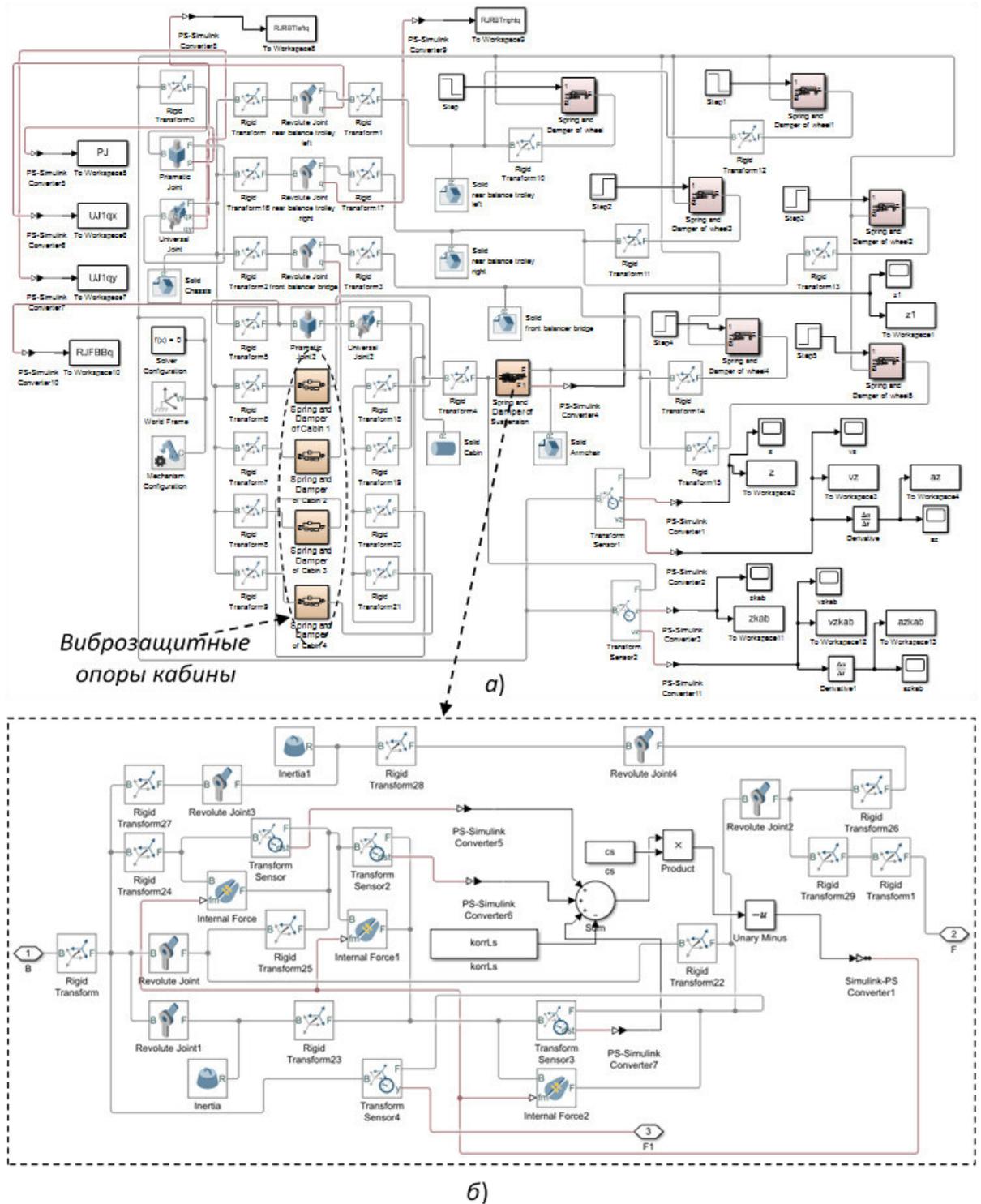


Рис. 9. Комплексная модель автогрейдера с подсистемами виброизоляции кабины и сиденья в обозначениях Simulink/Simscape Multibody: а) подсистема верхнего уровня; б) подсистема виброзащитного механизма сиденья

Совокупность подсистем может быть объединена в одну модель сложной динамической системы.

Исследование выполнялось с использованием разработанной комплексной имитационной модели автогрейдера (рис. 9), включающей в себя собственно механическую систему автогрейдера, виброзащитные опоры кабины, виброзащитную подвеску сиденья и подсистему задания стохастических воздействий на элементы ходового оборудования. Исследовалась виброзащитная подвеска сиденья с эффектом квазиулевого жесткости на основе параллелограммного механизма.

Для создания комплексной имитационной динамической модели автогрейдера с ВС сиденья, использовался пакет Simscape Multibody вычислительной системы MATLAB.

Общая схема комплексной модели в обозначениях Simulink/Simscape Multibody вычислительной системы MATLAB приведена на рис. 9, а. На рис. 9, б приведена схема подсистемы виброзащитного механизма сиденья ЧО в тех же обозначениях.

Разработанная имитационная модель (см. рис. 9) позволила провести исследование рабочего процесса сложной динамической системы «Микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденье ЧО».

В четвертой главе представлены результаты теоретических исследований, которые направлены на изучение влияния конструктивных параметров ВС сиденья ЧО на величину динамических воздействий на рабочем месте ЧО автогрейдера.

В ходе работы было выведено уравнение для определения коэффициента жесткости пружины c_{s7} , которое имеет вид:

$$c_{s7} = \frac{L_1 \cdot g \cdot m}{n \cdot a}. \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что коэффициент жесткости пружины, обеспечивающий режим квазиулевого жесткости механизма в средней части статической характеристики, может быть изменен в определенных пределах путем изменения конструктивных размеров механизма n , a и L_1 . Причем, увеличение размера L_1 увеличивает необходимую жесткость пружины, а увеличение размеров n , a , напротив, уменьшает. Зависимость $c_{s7}(L_1)$ линейная, $c_{s7}(n, a)$ – нелинейная. Увеличение размеров n и a в пределах габаритных размеров механизма позволяет существенно, в несколько раз уменьшить жесткость используемой пружины (рис. 7), а, следовательно, металлоемкость, массу пружины и механизма. Зависимость, приведенная на рис. 10, получена при тех же постоянных значениях остальных параметров, входящих в (6), при которых получена статическая характеристика, приведенная на рис. 8.

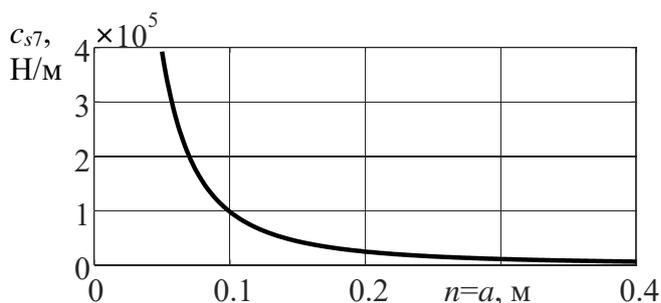


Рис.10. Зависимость жесткости пружины от размеров n и a при условии равенства последних

Проведенный анализ статических характеристик был направлен на исследование ширины и наклона линейного участка, а также форму нелинейных участков.

Конструктивные параметры виброзащитного механизма на основе параллелограмма (см. рис. 7) в проведенном в качестве примера вычислительном эксперименте принимали следующие значения: $n=0.1$ м, $a=0.1$ м, $L_1=0.5$ м, $x_3=0.35$ м, $y_r=0.1$ м.

Угловой коэффициент сопротивления каждого из 4 шарниров параллелограмма составлял 5 Н·м/(рад/с). Коэффициент жесткости каждой из 4-х виброзащитных опор кабины составлял 10000 Н/м, а коэффициент вязкого трения – 1000 Н/(м/с). Заданный размер зоны квазиулевого жесткости принимал два значения $h_{qz}=0.05$ м и $h_{qz}=0$ м. В последнем случае статическая силовая характеристика виброзащитного механизма была аналогична характеристике обычной пружины с демпфером, не имеющей зоны квазиулевого жесткости. Масса m_6 сиденья с ЧО составляла 200 кг. Прочие параметры имитационной модели соответствовали автогрейдеру марки ДЗ-98. Абсолютное значение приращения высоты микрорельефа во всех расчетных случаях составляло 0,1 м. Ступенчатое воздействие соответствует наезду на ступень высотой +0.1 м. Время начала ступенчатого воздействия во всех опытах составляло 50 с. Интервал времени от 0 до 50 с использовался для полного затухания начальных колебаний груза, вызванных силами тяжести звеньев при нулевых начальных приращениях обобщенных координат автогрейдера. То есть, для численного решения задачи статики объекта.

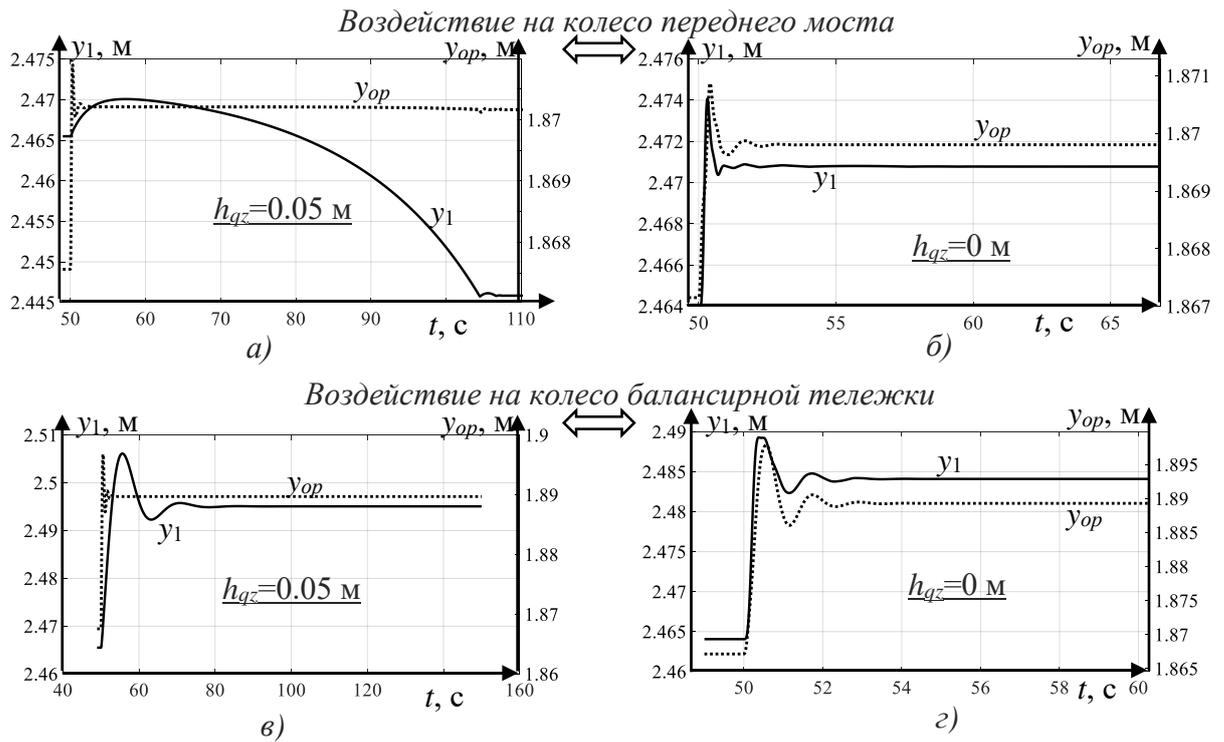


Рис.11. Временные зависимости вертикальных координат центра масс сиденья с ЧО y_1 (шкалы слева, сплошные линии) и основания сиденья на полу кабины y_{op} (шкалы справа, пунктирные линии) при ступенчатом воздействии на колесо: а) переднего моста, $h_{qz}=0.05$ м; б) переднего моста, $h_{qz}=0$ м; в) балансирующей тележки, $h_{qz}=0.05$ м; г) балансирующей тележки, $h_{qz}=0$ м

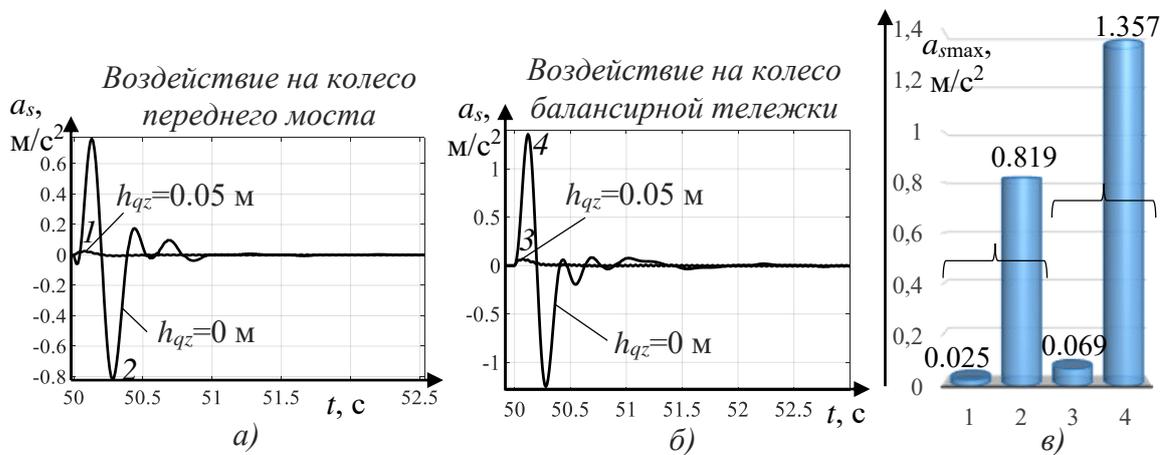


Рис.12. Временные зависимости ускорений сиденья при ступенчатом воздействии на колесо переднего моста (а), на колесо балансирующей тележки (б), а также соответствующие максимальные значения ускорений сиденья (в)

Полученные на разработанной имитационной модели результаты вычислительного эксперимента показывают, что при наличии зоны квазиулевои жесткости в средней части статической характеристики ВС сиденья, максимальные ускорения сиденья на порядок меньше, чем при отсутствии зоны квазиулевои жесткости. В 33 раза уменьшаются максимальные ускорения при ступенчатом внешнем воздействии на колесо переднего балансирующего моста, и в 20 раз при аналогичном воздействии на одно колесо задней балансирующей тележки.

Для исследования влияния размера участка квазиулевои жесткости на виброускорения при случайных воздействиях, были проварьированы параметры: величина зоны квазиулевои жесткости виброзащитной подвески сиденья оператора h_{qz} , среднеквадратичное отклонение вертикальных координат микропрофиля опорной поверхности σ_m , скорость перемещения автогрейдера в горизонтальном направлении v , величина приращения Δc_s к значению c_{s7}

коэффициента жесткости пружины виброзащитного механизма сиденья, соответствующему горизонтальности среднего участка статической силовой характеристики ВС сиденья.

Перечисленные параметры варьировались в следующих пределах и со следующими шагами дискретизации: $h_{qz}=[0; 0.02; 0.04; 0.06; 0.08; 0.1]$ м; $\sigma_m=[0.01; 0.02; 0.03; 0.04; 0.05; 0.06]$ м; $v=[1; 2; 3; 4; 5; 6]$ м/с ([3.6; 7.2; 10.8; 14.4; 18.0; 21.6] км/час); $\Delta_{cs}=[0; 5000; 10000]$ Н/м. Параметр σ_m определял величину отклонений вертикальных координат микрорельефа опорной поверхности под правыми и левыми колесами автогрейдера от нулевого уровня (см. рис. 5).

На рис. 13, а приведены 6 статических силовых характеристик с варьируемыми значениями зоны квазиулевой жесткости виброзащитной подвески сиденья оператора h_{qz} , от 0 до 0.1 м. Средний участок всех характеристик на рис. 13, а строго горизонтален, т.е. в приведенных характеристиках величина приращения к коэффициенту жесткости пружины равна нулю: $\Delta_{cs}=0$ Н/м. При ненулевых исследуемых значениях Δ_{cs} , на общем графике статические силовые характеристики визуально не будут отличаться от приведенных на рис. 13, а, т.е. средний участок будет выглядеть как близкий к горизонтальному. Наклон среднего участка статических характеристик с $h_{qz}=0.1$ м может быть визуально оценен лишь при значительном увеличении вертикального масштаба фрагментов характеристик (рис. 13, б).

В частном случае нулевой длины среднего участка (отсутствия зоны квазиулевой жесткости, $h_{qz}=0$), статическая силовая характеристика виброзащитного механизма аналогична характеристике упругого элемента с демпфером, т.е. традиционного, наиболее распространенного виброзащитного механизма. Максимальные значения параметра h_{qz} ограничивались 0.1 м, исходя из эргономических соображений (ограничение высоты кабины, расстояний от сиденья до педалей и руля).

Фиксированные параметры модели соответствовали автогрейдеру марки ДЗ-98. Коэффициент жесткости отдельной виброзащитной опоры кабины, ее коэффициент вязкого трения, конструктивные параметры параллелограммного виброзащитного механизма сиденья, угловой коэффициент сопротивления отдельного шарнира, масса m_6 сиденья с человеком-оператором приведены выше. Ограничивающие трос ролики располагались на горизонтальном расстоянии 0,35 м от левой стороны параллелограмма. Длина пятна контакта каждой из шин принималась равной 0.2 м.

Конечное время моделирования перемещения автогрейдера по неровностям микрорельефа при каждом сочетании варьируемых параметров принималось равным 1000 с.

На рис. 14, а приведены графики 6 поверхностей – зависимостей среднеквадратичного ускорения a_s от скорости перемещения автогрейдера v и среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа σ_m . Графики на рис. 14 получены при фиксированном значении приращения к жесткости пружины $\Delta_{cs}=10000$ Н/м.

Шесть поверхностей на рис. 14, а соответствуют шести исследуемым значениям величины зоны квазиулевой жесткости h_{qz} . Расположенные на более низком уровне поверхности соответствуют большим значениям h_{qz} .

Поверхности, полученные при различных значениях h_{qz} , частично перекрывают друг друга, что иллюстрирует рис. 14, б, где приведены только две из шести поверхностей, приведенных на рис. 14, а, соответствующие крайним диапазонным значениям $h_{qz}=0$ м (верхняя поверхность) и $h_{qz}=0.1$ м (нижняя поверхность).

Аналогичные поверхности $a_s=f(\sigma_m, v)$, которые были построены при значениях приращения к жесткости пружины $\Delta_{cs} 0$ и 5000 Н/м, отличаются от приведенных на рис. 14 крайне незначительно, поэтому не приводятся.

Для перспективных ВС сидений с нелинейной статической характеристикой, в работе предложено обладающее новизной аналитическое выражение статической силы виброзащитного механизма Pv от его собственной деформации y_1 , которое имеет вид:

$$P_v = k_{y1} \cdot y_1 - \frac{k_{y_{num}}}{d_{yp} + y_1} + \frac{k_{y_{num}}}{d_{yp} - y_1}, \quad (7)$$

где k_{y1} – коэффициент линейного слагаемого функции силы, Н/м; k_{ynum} – коэффициент нелинейных слагаемых, Н; $d_{yp} = \frac{y_{lrange}}{2}$ – половина диапазона допустимого хода механизма, м.

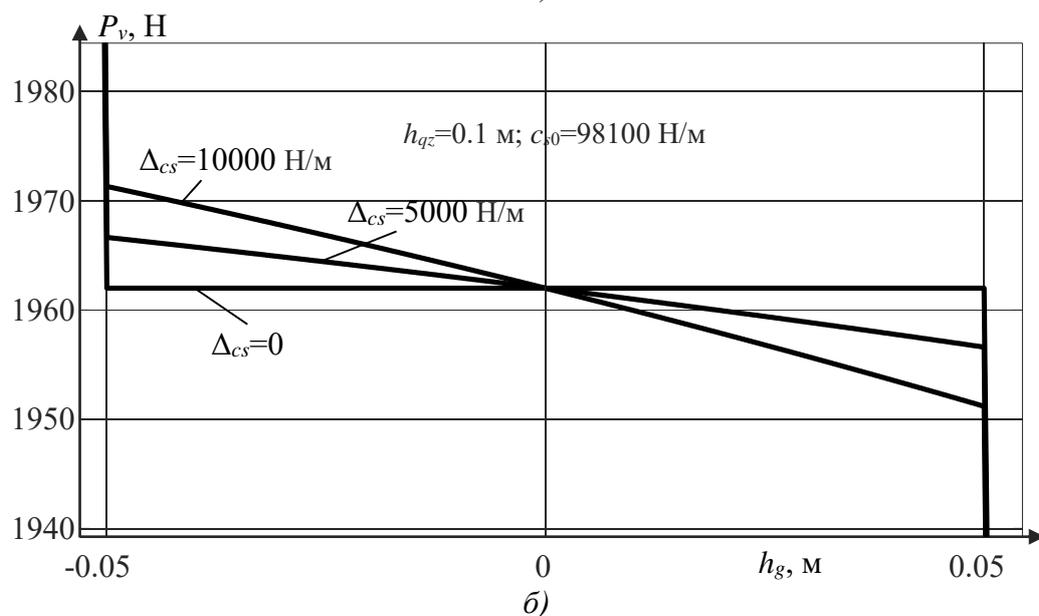
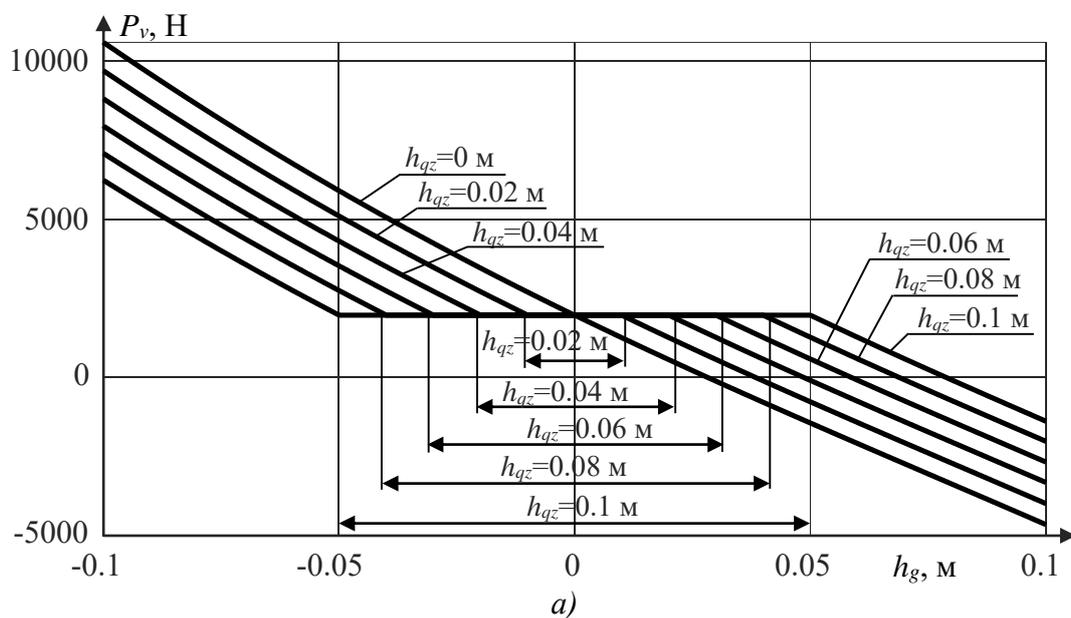


Рис. 13. Исследуемые статические силовые характеристики ВС сиденья оператора: а) с 6 различными значениями h_{qz} ; б) увеличенный фрагмент среднего участка трех характеристик с 3 различными значениями Δ_{cs} (при $h_{qz} = 0.1 \text{ м}$)

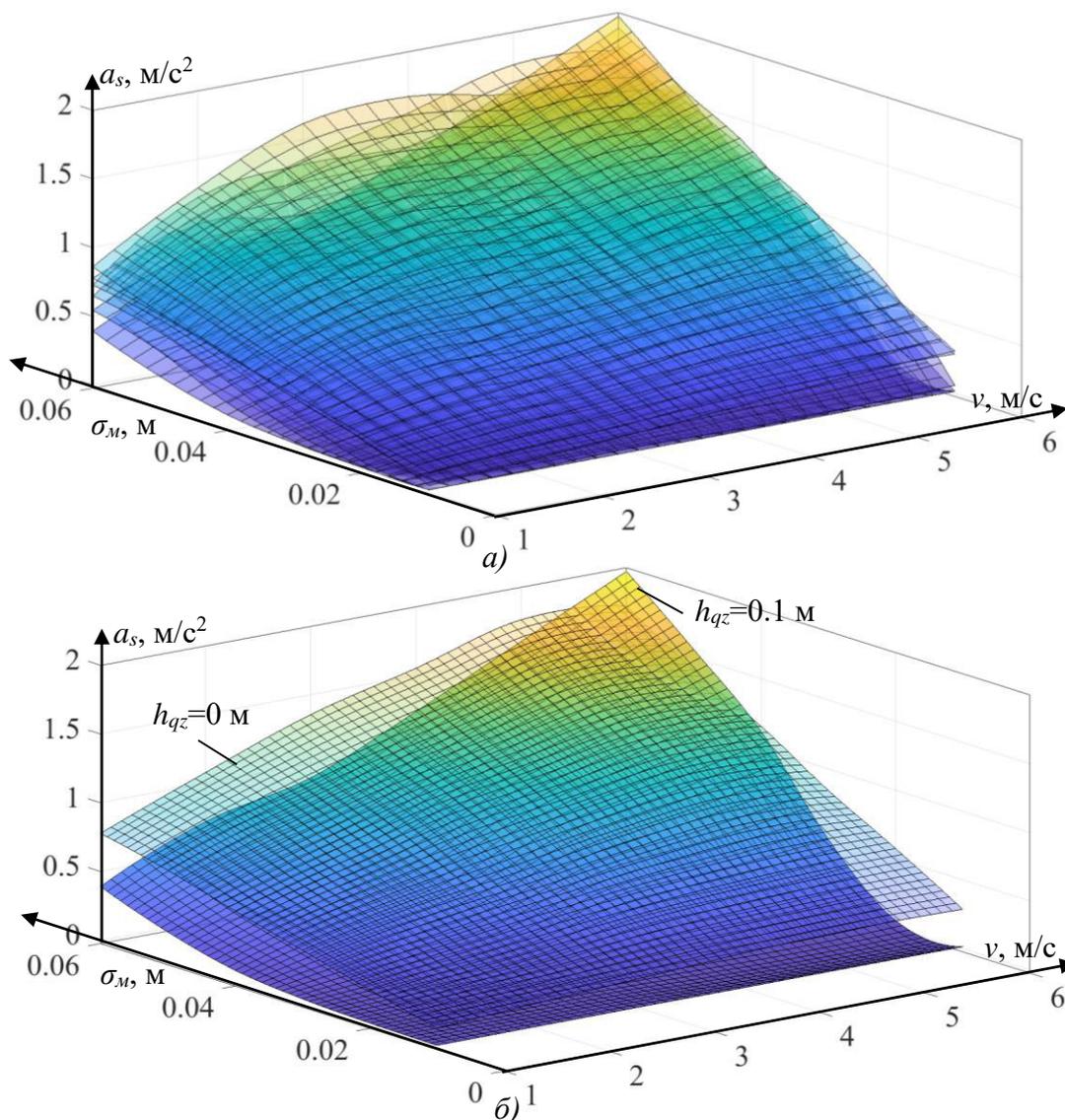


Рис.14. Зависимости среднеквадратичного ускорения a_s от скорости перемещения автогрейдера v и среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа σ_M : а) шесть поверхностей для всех исследуемых значений величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz} ; б) две поверхности для граничных значений величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz}

На рис. 15 в качестве примера приведены 10 различных графиков статических силовых характеристик виброзащитной подвески с различными значениями коэффициентов в выражении (7) функции силы: 1) $k_{y_{num}}=1 \dots 20$ Н при постоянном значении $k_{y1}=0$ Н/м; 2) $k_{y1}=0 \dots 15000$ Н/м при постоянном значении $k_{y_{num}}=1$ Н. Параметр ограничения d_{yp} для всех графиков принимал фиксированное значение $d_{yp}=0.1$ м. Бесконечный диапазон изменения значений силы на данных графиках, обусловленный характером аналитического выражения (7), был ограничен пределами $-3000 \dots 3000$ Н для облегчения сравнения отдельных графиков между собой.

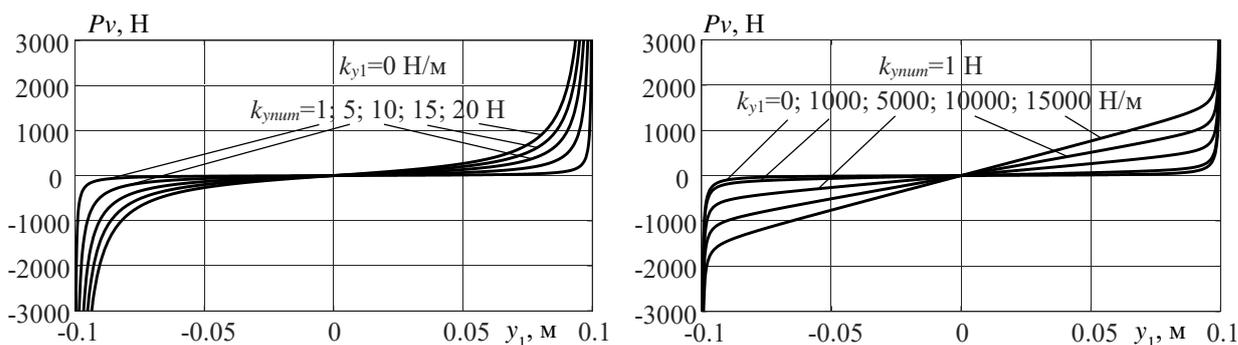


Рис. 15. Примеры статических силовых характеристик виброзащитной подвески с различными значениями коэффициентов в выражении функции силы

При проведении вычислительных экспериментов для систем с характеристикой (7), диапазон перемещений модели виброзащитного механизма y_{1range} и связанный с ним параметр функции силы d_{yp} исходя из эргономических соображений принимали фиксированные значения: $y_{1range}=0,2$ м; $d_{yp}=0,1$ м. Для реализации нелинейной характеристики в комбинации с параллелограммным механизмом необходимо использовать отбойники.

На рис. 16, а в качестве примера для системы (7) приведена отдельная временная зависимость локального перемещения виброзащитного механизма y_1 , а на рис. 16,б – соответствующая ей временная зависимость ускорения виброзащищаемой массы в неподвижной СК. Эти зависимости приведены для последних 100 с моделируемого процесса (установившееся движение, с 200 до 300 с) и получены при следующих значениях варьируемых параметров: $A_{mp}=0,05$ м; $T_o=5$ с; $k_{y1}=1000$ Н/м; $k_{ynum}=1$ Н.

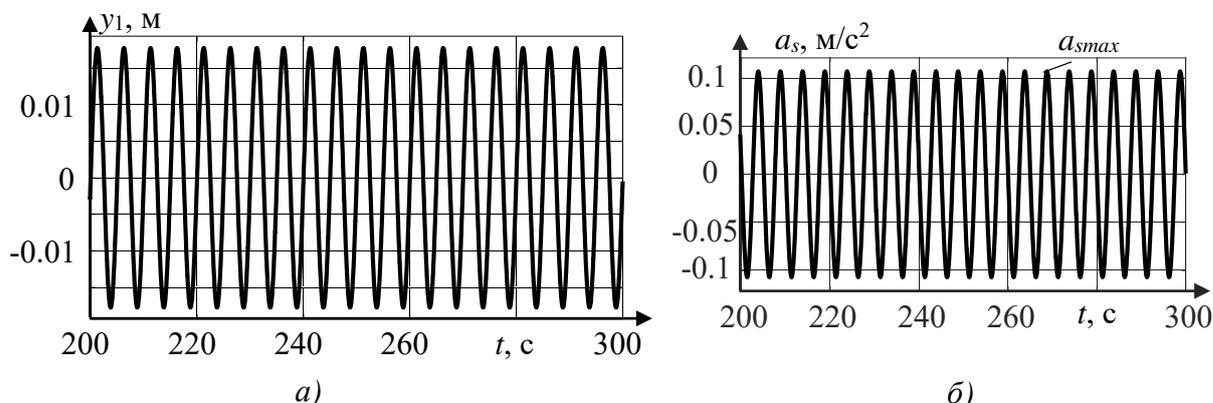


Рис. 16. Временные зависимости деформации виброзащитного механизма с нелинейной характеристикой (а) и ускорения виброзащищаемой массы в неподвижной системе координат (б) (примеры, последние 100 с процесса)

В результате проведения серии вычислительных экспериментов с использованием разработанной математической модели системы (7), были получены результаты, часть из которых представлена на рис. 17. Постоянные параметры виброзащитной системы и переходного процесса принимали значения: $b_{h7}=20$ Н/(м/с); $A_{mp}=0,1$ м; $T_o=5$ с; $T_{kon}=300$ с; $T_{izm}=50$ с; $h_{qz}=0,1$ м; $y_2=0,1$ м. Установлено, что при увеличении значения максимального допустимого шага интегрирования ДУ, снижается точность определения максимального ускорения сиденья в установившемся режиме колебаний. Рекомендовано ограничить значение максимального допустимого шага интегрирования величиной в одну сотую секунды.

Для практического применения разработанной ВС сиденья на основе параллелограммного механизма, необходимо решить задачу назначения и оптимизации ее конструктивных параметров.

На схеме виброзащитного механизма (см. рис. 7) независимыми конструктивными параметрами, оказывающими влияние на среднеквадратичное вертикальное ускорение сиденья

a_s , являются размеры L_1 , n , a , x_3 , масса сиденья с оператором m_6 , коэффициент жесткости пружины c_{s7} и коэффициент вязкого трения амортизатора b_{h7} .

Конструктивно амортизатор может иметь исполнение, показанное на схеме (см. рис. 7), но может быть и привязан к одному из угловых шарниров параллелограмма. В последнем случае угловой коэффициент вязкого трения амортизатора b_{sh} , привязанного, например, к левому нижнему угловому шарниру параллелограмма (точке 0), будет связан с условным линейным коэффициентом вязкого трения поступательного амортизатора b_{h7} соотношением $b_{sh} = b_{h7} \cdot L_1^2$.

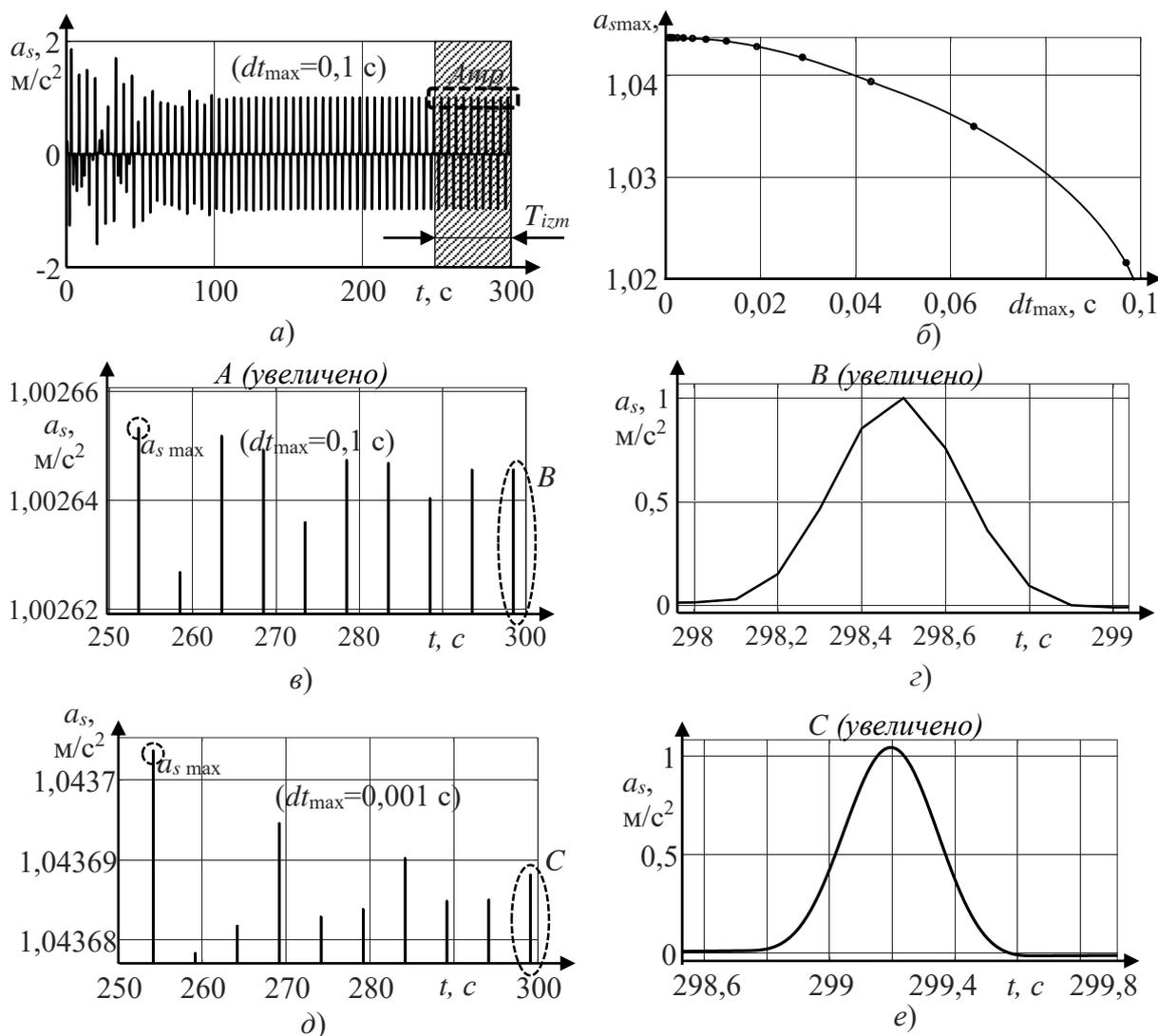


Рис. 17. Примеры зависимостей ускорения: а) полная временная зависимость ускорения при $dt_{max}=0,1$ с; б) функциональная зависимость максимального ускорения от шага времени dt_{max} ; в) фрагмент пиков временной зависимости ускорения при $dt_{max}=0,1$ с; г) локальный максимум ускорения при $dt_{max}=0,1$ с; д) фрагмент пиков временной зависимости ускорения при $dt_{max}=0,001$ с; е) локальный максимум ускорения при $dt_{max}=0,001$ с

Масса сиденья с оператором m_6 не оптимизировалась, т.к. являлась заданной (с учетом фактической переменной массы оператора и постоянной массы сиденья).

Размер y_r боковых звеньев параллелограмма оказывает влияние только на габаритную высоту виброзащитного механизма и напряжения, возникающие в материале его звеньев, но не оказывает влияния на перемещения механизма и вертикальное ускорение a_s . Размер u_3 оказывает влияние на a_s , но определяется высотой зоны квазиулевого жесткости h_{qz} , и не является независимым.

Задача оптимизации конструктивных параметров ВС сиденья в общем случае является многопараметрической. При ее решении необходимо проводить оценку поведения системы при стохастических внешних воздействиях на элементы ходового оборудования автогрейдера, т.е. на имитационной модели (см. рис. 9). Учитывая сравнительно большие временные затраты на имитационное моделирование отдельного процесса перемещения машины с ВС сиденья по неровностям микрорельефа опорной поверхности, применение методов многомерной оптимизации, таких, например, как Симплекс-метод, при этом затруднено на всем множестве параметров виброзащитной системы. Целесообразно уменьшить размерность задачи, введя допущения, ограничения, и зафиксировав часть параметров виброзащитной системы, а также связав их аналитическими зависимостями.

Все параметры могут быть разделены на три группы: фиксированные, случайные и варьируемые.

Фиксированные параметры. К данной группе относятся: габаритная длина кабины в направлении движения машины L_{cab} ; диапазонные значения массы оператора m_{omin} ; m_{omax} ; текущее фактическое значение массы оператора m_o ; вектор значений скорости движения машины в транспортном режиме \vec{v} ; вектор значений среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа, соответствующих вектору скоростей $\vec{\sigma}_m$; максимальное допустимое значение коэффициента жесткости пружины c_{s7max} ; конструктивные параметры автогрейдера. Конечное время моделирования перемещения автогрейдера по случайно заданному микрорельефу T_{kon} .

Случайные параметры. К случайным параметрам относятся дискретные значения высот профиля микрорельефа u_i под ходовыми элементами автогрейдера. Они вычислялись по рекуррентным уравнениям, описанным в первой главе, и являлись зависимыми от $\vec{\sigma}_m$ внутренними параметрами методики.

Варьируемые параметры. К независимым варьируемым параметрам, значения которых необходимо оптимизировать, относятся: длина горизонтального звена параллелограммного механизма L_1 ; размеры n , a и x_3 механизма; коэффициент вязкого трения амортизатора b_{h7} ; высота зоны квазинулевой жесткости сиденья h_{qz} .

По критерию оптимизации (1) на выборке наиболее вероятных перемещений автогрейдера по стохастическому профилю микрорельефа, определялось среднеквадратичное вертикальное ускорение сразу для шести отдельных процессов перемещения.

Выборка, задаваемая заказчиком, в качестве примера была представлена вектором из 6 скоростей перемещения машины $\vec{v} = [1; 2; 3; 4; 5; 6]$ м/с, и соответствующим ему вектором из 6 среднеквадратичных отклонений вертикальных координат микропрофиля опорной поверхности $\vec{\sigma}_m = [0.06; 0.05; 0.04; 0.03; 0.02; 0.01]$ м. Конечное время моделирования перемещения автогрейдера по случайно заданному микрорельефу при каждом из 6 сочетаний скорости и отклонения профиля составляло $T_{kon} = 1000$ с. Было принято в качестве допущения, что данный набор из 6 сочетаний скоростей и среднеквадратичных отклонений вертикальных координат микропрофиля, представленный в табл. 2, в достаточной мере соответствует реальным условиям эксплуатации машины в транспортном режиме, и может быть использован в качестве тестового для сравнительной оценки виброзащитных механизмов сидений с различными конструктивными параметрами.

Таблица 2 – Набор из 6 сочетаний среднеквадратичных отклонений микропрофиля и скоростей автогрейдера, используемый в качестве тестового

№ сочетания	σ_m , м	v , м/с
1	0.06	1
2	0.05	2
3	0.04	3
4	0.03	4
5	0.02	5
6	0.01	6

Большим среднеквадратичным отклонением микропрофиля в табл. 2 соответствовали перемещения с меньшими скоростями, и наоборот. Подобные соотношения в транспортном режиме, как правило, всегда обеспечиваются оператором машины, чтобы минимизировать риск повреждений ходовой части или всей машины (при больших неровностях микрорельефа оператор снижает скорость, и наоборот).

В качестве целевой функции выступала неявная зависимость среднеквадратичного вертикального ускорения сиденья (1) от всех конструктивных параметров виброзащитного механизма сиденья:

$$a_s = f(L_{cab}; m_{omin}; m_{omax}; m_o; c_{s7max}; \bar{v}; \bar{\sigma}_m; L_1; n; x_3; b_{h7}; h_{qz}), \quad (8)$$

в которой значение целевой функции определялось при помощи имитационной математической модели автогрейдера с ВС сиденья.

Значение целевой функции минимизировалось.

Все параметры принимали только положительные значения. На ряд параметров были наложены дополнительные граничные условия:

$$m_{omin} < m_o < m_{omax}; 0.4 \text{ м} < L_1 < (L_{cab} - 0.5 \text{ м}); 0.1 \text{ м} < n < L_1; a = n; \\ (n + 0.05 \text{ м}) < x_3 < (L_1 - 0.05 \text{ м}); b_{h7} > 100 \text{ Н/(м/с)}; 0 \text{ м} < h_{qz} \leq 0.1 \text{ м}. \quad (9)$$

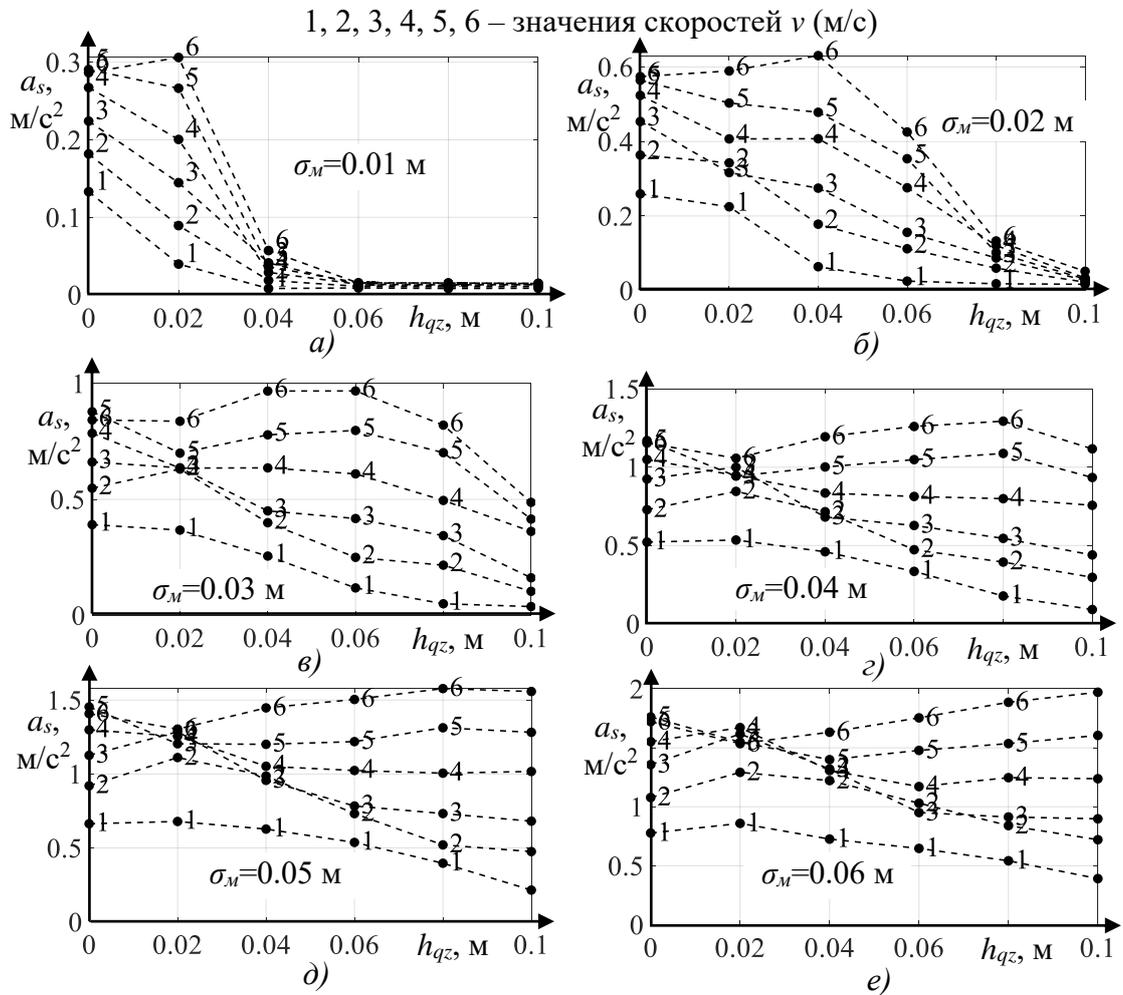


Рис. 18. Зависимости среднеквадратичного ускорения a_s от величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz} , полученные при значениях среднеквадратичного отклонения профиля σ_m : а) 0.01 м; б) 0.02 м; в) 0.03 м; г) 0.04 м; д) 0.05 м; е) 0.06 м

Числовые значения в граничных условиях (9) были заданы из соображений обеспечения работоспособности механизма, технологичности изготовления его деталей, а также эргономических соображений.

Размер x_3 конструктивно должен находиться в пределах между размерами a и L_1 (см. рис. 7). Было принято допущение о равенстве размеров $a=n$, поскольку эти два параметра равнозначны по влиянию на a_s , и при их равенстве используемые аналитические зависимости существенно упрощаются. С учетом минимальных дополнительных расстояний, принятых равными 0.05 м вдоль оси X между точками 2 и 3, либо между точками 3 и 4 (расстояния в 0.05 м необходимы для сохранения постоянного контакта троса с роликами при перескоках троса, и исключения контакта роликов друг с другом), на размер x_3 накладываются приведенные выше ограничения.

В качестве метода оптимизации использовался Симплекс-метод. Он применялся только для оптимизации значений параметров, которые неоднозначно влияют на значение целевой функции. Такими параметрами являются b_{h7} и x_3 . Остальные параметры однозначно увеличивают либо уменьшают значение целевой функции при прочих равных условиях, поэтому целесообразно придание им граничных максимальных или минимальных значений.

На рис. 18 в виде совокупностей двухмерных графиков приведены функциональные зависимости среднеквадратичного ускорения a_s от величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz} . Различным кривым соответствуют различные скорости перемещения v , значения которых подписаны рядом с каждой кривой. Графики объединены в шесть групп по шести значениям σ_m .

Большой информативностью обладают графики зависимостей средних значений среднеквадратичных ускорений сиденья от величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz} после выборки по табл. 2. Значение функции в каждой точке графиков рассчитано как среднее арифметическое a_s совокупности всех возможных сочетаний σ_m и v (рис. 19).

Наибольшим значениям среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа σ_m соответствуют перемещения машины с наименьшей скоростью v . И, напротив, наименьшим значениям среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа σ_m соответствуют перемещения машины с наибольшей скоростью.

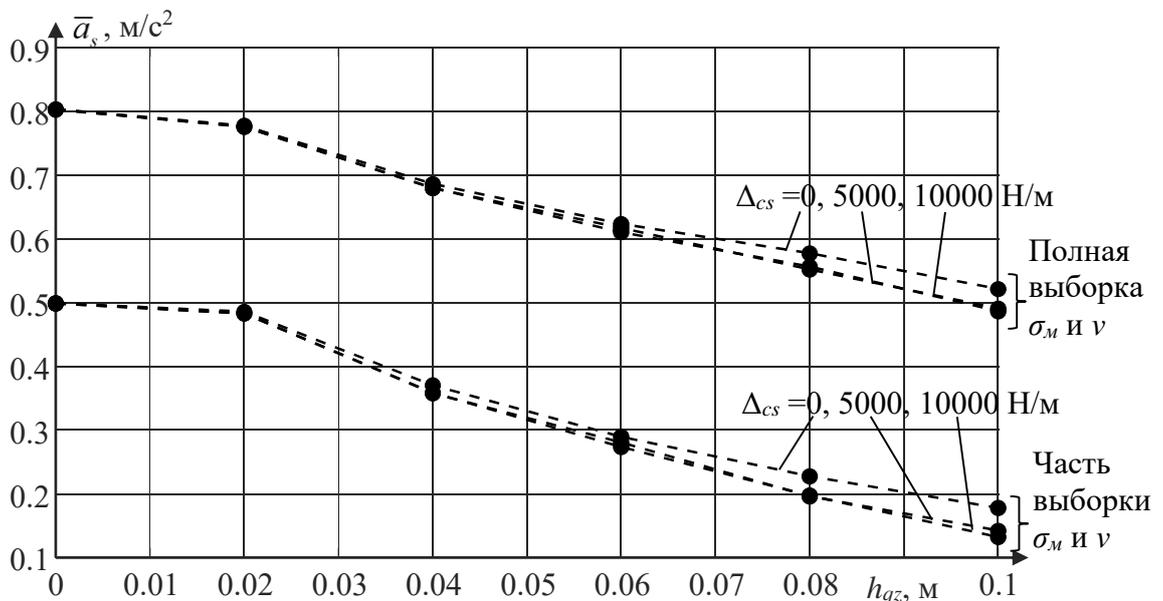


Рис. 19. Графики функциональных зависимостей средних значений среднеквадратичного отклонения вертикального ускорения сиденья от величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz}

Результаты исследований показали, что увеличение величины зоны квазиулевого жесткости h_{qz} в статической силовой характеристике механизма всегда, при прочих равных условиях, снижает среднеквадратичное вертикальное ускорение сиденья a_s . Поэтому целесообразно придание этому параметру максимального значения с учетом заданных ограничений: $h_{qz}=0.1$ м.

Параметру n необходимо придать минимальное значение $n=0.1$ м, поскольку его уменьшение всегда, при прочих равных условиях, снижает среднеквадратичное вертикальное ускорение сиденья a_s .

Параметру L_1 необходимо придать максимальное значение, где 0.5 м – минимально допустимая из эргономических соображений длина зоны управления в передней части кабины. Поскольку его увеличение всегда, при прочих равных условиях, снижает среднеквадратичное вертикальное ускорение сиденья a_s .

Результаты исследований показали, что минимальные значения среднеквадратичного вертикального ускорения сиденья a_s , при прочих равных условиях, в основном достигаются при значениях x_3 , близких к нижнему пределу, т.е. при $x_3 \approx (a+0.05 \dots 0.1)$ м. Поэтому начальное значение параметра x_3 при оптимизации принималось равным $x_3 = a+0.05$ м.

Из приведенных вычислительных экспериментов было установлено, что коэффициент вязкого трения амортизатора b_{h7} оказывает неоднозначное влияние на среднеквадратичное вертикальное ускорение сиденья a_s (см. рис. 20, 21).

При увеличении L_1 происходит повышение среднеквадратичного локального отклонения механизма ВС сиденья y_{1s} от собственного среднего положения. То есть, возрастает вертикальный ход механизма.

Оптимальные значения коэффициента вязкого трения амортизатора b_{h7} , находятся в пределах 200...1000 Н/(м/с), причем большие значения b_{h7} из приведенного диапазона соответствуют меньшим значениям L_1 . Начальное значение параметра b_{h7} при оптимизации принималось равным 450 Н/(м/с).

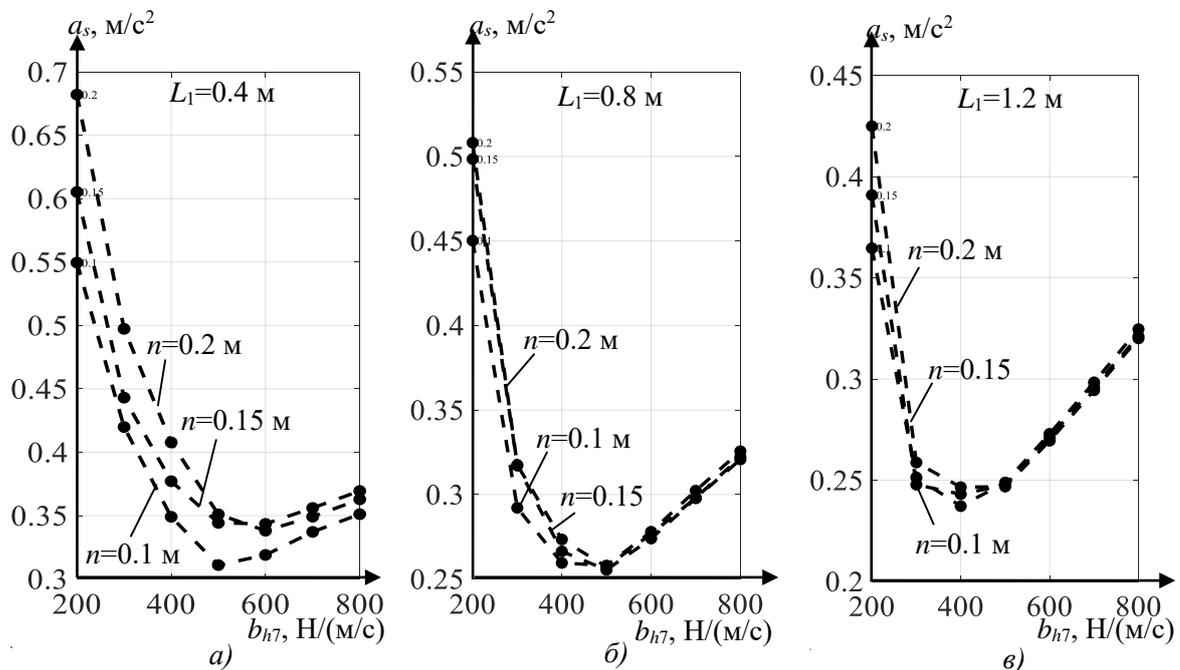


Рис. 20. Зависимости среднеквадратичного вертикального ускорения сиденья a_s от коэффициента вязкого трения амортизатора b_{h7} , при различных значениях размеров L_1 и n и постоянной формуле размера $x_3 = n+0.05$ м: а) при $L_1=0.4$ м; б) при $L_1=0.8$ м; в) при $L_1=1.2$ м

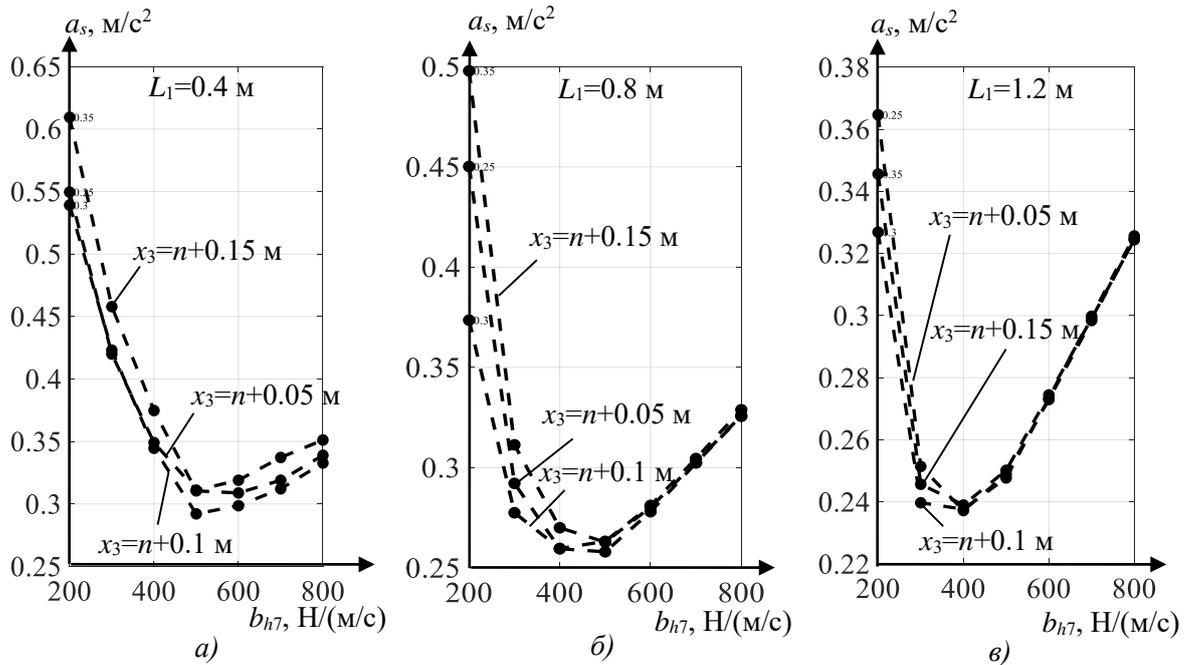


Рис. 21. Зависимости среднеквадратичного вертикального ускорения сиденья a_s от коэффициента вязкого трения амортизатора b_{h7} , при различных значениях размеров L_1 и x_3 и постоянном значении размера $n=0.1 \text{ м}$: а) при $L_1=0.4 \text{ м}$; б) при $L_1=0.8 \text{ м}$; в) при $L_1=1.2 \text{ м}$

Годовой экономический эффект от внедрения ВС сиденья с квазиулевым жесткостью составил 41946,4 руб.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований. Подтверждена адекватность математической модели. Разработана методика оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазиулевым статической характеристикой. Предложены запатентованные варианты технической реализации систем виброзащиты с квазиулевым статической характеристикой.

Основные результаты и выводы

1. Обоснован подход к созданию ВС сидений ЧО с квазиулевым статической характеристикой. Сущность подхода заключается в том, что обеспечивается постоянный момент вращения механизма относительно оси. Это достигается за счет взаимосвязанного изменения величин силы растяжения пружины и плеча к приложению действия этой силы.

2. Разработанная имитационная модель сложной динамической системы «Микрорельеф – базовая машина – кабина – ВС сиденья ЧО», позволяет проводить теоретические исследования уровня вибрации на рабочем месте ЧО.

3. При прочих равных условиях, наибольших значений среднеквадратичное ускорение сиденья в вертикальном направлении достигает при сочетании максимальных скоростей перемещения машины и максимальных среднеквадратичных отклонений профиля микрорельефа. Минимальные среднеквадратичные ускорения сиденья достигаются при сочетании минимальных среднеквадратичных отклонений профиля и скоростей. Максимальные значения среднеквадратичного ускорения сиденья превышают минимальные в несколько сотен раз в рассматриваемых диапазонах изменения среднеквадратичного отклонения профиля микрорельефа (0.01...0.06 м) и скорости (1...6 м/с). Например, при фиксированном значении прибавки к жесткости пружины $\Delta c_s = 10000 \text{ Н/м}$, максимальное значение среднеквадратичного ускорения сиденья в 240 раз больше минимального (1.97107 и 0.00821 m/c^2 соответственно).

Увеличение величины зоны квазиулевым жесткости с нулевого значения до 0.1 м снижает среднеквадратичное ускорение сиденья при случайных воздействиях. Наиболее существенное снижение (в 30 раз и более) достигается при минимальных значениях среднеквадратичного

отклонения профиля микрорельефа. В то же время, при максимальных среднеквадратичных отклонениях профиля и максимальных скоростях, увеличение величины зоны квазиулевого жесткости приводит к незначительному возрастанию среднеквадратичного ускорения сиденья.

Учитывая, что при больших среднеквадратичных отклонениях профиля оператор ограничивает скорость перемещения, оценку эффективности увеличения зоны квазиулевого жесткости целесообразно проводить на части выборки (табл. 2). Данная часть выборки соответствует реальным условиям эксплуатации машины в транспортном режиме. На описанной части выборки увеличение величины зоны квазиулевого жесткости с нулевого значения до 0.1 м снижает среднее среднеквадратичное ускорение в 3 раза и более.

Придание средней части статической силовой характеристики виброзащитного механизма сиденья небольшого наклона позволяет еще больше повысить эффективность виброзащиты (снизив среднее среднеквадратичное ускорение не в 3, а в 3.5 раза). Наклон средней части статической силовой характеристики задавался при этом величиной прибавки к значению коэффициента жесткости пружины виброзащитного механизма.

4. Разработана инженерная методика оптимизации параметров ВС сиденья ЧО с квазиулевым статической характеристикой.

**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:
В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Кобытов М. С. Имитационная модель виброзащитного механизма кресла с участком квазинулевой жесткости оператора строительного-дорожного машины / М. С. Кобытов, В. С. Щербак, И. Е. Почекуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 4. С. 486-496. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-04-486-496.
2. Кобытов М. С. Использование тарельчатых пружин для создания виброзащитного механизма с участком квазинулевой жесткости / М. С. Кобытов, В. С. Щербак, И. Е. Почекуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 3. С. 377-387. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-377-387.
3. Кобытов М. С. Сравнительный анализ пружинных механизмов виброзащитных кресел дорожно-строительных машин / М. С. Кобытов, В. С. Щербак, И. Е. Почекуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 62-72. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-62-72.
4. Кобытов М. С. Условие квазинулевой жесткости статической силовой характеристики параллелограммного механизма виброзащитной системы сиденья / М. С. Кобытов, И. Е. Кашапова, В. С. Щербак // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19. № 2(84). С. 144-155. DOI: 10.26518/2071-7296- 2021-19-2-144-155.
5. Кобытов М. С. Аналитическое выражение для аппроксимации силы трения виброзащитного механизма сиденья оператора / М.С. Кобытов, В.С. Щербак, И.Е. Кашапова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 3. С. 183-193. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-03-183-193.
6. Кобытов, М. С. Применение параллелограммного механизма с эффектом квазинулевой жесткости в виброзащитных системах кресла оператора строительного-дорожного машины / М.С. Кобытов, В.С. Щербак, И.Е. Почекуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 2. С. 132-140. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-02-132-140.
7. Кобытов, М. С. Аналитическое решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний виброзащитной системы с кусочно-линейной статической силовой характеристикой при гармоническом кинематическом возбуждении перемещений основания / М.С. Кобытов, В.С. Щербак, И.Е. Кашапова // Справочник. Инженерный журнал. 2023. № 1(310). С. 16-26. DOI: 10.14489/hb.2023.01.pp.016-026.
8. Кобытов М. С. Методика оптимизации основных параметров виброзащитной системы сиденья автогрейдера с квазинулевой статической характеристикой / М. С. Кобытов, И. Е. Кашапова, В. С. Щербак // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20. № 2. С. 180-193. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-2-180-193.
9. Кобытов, М. С. Исследование виброзащитной системы сиденья с квазинулевой жесткостью при стохастических воздействиях на элементы ходового оборудования автогрейдера / М.С. Кобытов, В.С. Щербак, И.Е. Кашапова // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7. № 1. С. 61-69. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-1-61-69.
10. Кобытов, М. С. Динамические свойства сиденья автогрейдера с квазинулевой статической характеристикой / М.С. Кобытов, В.С. Щербак, И.Е. Кашапова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 291-298. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-291-298.

В изданиях, индексируемые в реферативных базах данных SCOPUS:

1. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Kashapova I.E., Titenko V.V., Derkach V.V. Use of the Belleville spring package in the vibration protection mechanism of the operator's seat // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Pp. 012056. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012056.
2. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Kashapova I.E., Titenko V.V., Okhotnikov A.A. Study of the external section shape of the static characteristic of the antivibration suspension with a quasi-zero

stiffness section // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Pp. 012057. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012057.

3. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Pochekuyeva I.E., Titenko V.V. Study of the antivibration suspended seat oscillations with quasi-zero stiffness effect under sinusoidal excitation // Journal of Physics: Conference Series. March, 2021. P. 012120. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012120.

4. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V., Pochekueva I.E. Oscillations simulation of the vibration protection suspended load with a movable base // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1791(1). Pp. 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012013.

5. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V., Pochekueva I.E. Roller vibroprotection mechanism with a quasi-zero stiffness section // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1791(1). Pp. 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012014

6. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V., Pochekueva I.E. Vibration protection system with nonlinear elastic and damping characteristics // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1791(1). Pp. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012015

7. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V., Pochekuyeva I.E. Interpolation of experimental values for working parameters of a construction machine in the data space of an arbitrary dimensionality // Journal of Physics: Conference Series. March, 2020. P. 012086. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012086.

8. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V., Kashapova I.E., Kolunina Y.A. Analytical description and study of the static characteristic parameters of the antivibration suspension of the operator's seat // International Journal of Mechanics and Control. 2022. Vol. 23. No. 02. Pp. 3-9.

Патенты и свидетельства:

1. Пат. 206711 Российская Федерация: МПК В 60 N 2/50. Виброзащитная система сиденья оператора / Почекуева И. Е., Корытов М. С., Щербаков В. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2021111734; заявл. 26.04.2021; опубл. 23.09.2021, Бюл. N 27. – 6 с.

2. Пат. 209204 Российская Федерация: МПК В 60 N 2/50. Виброзащитное сиденье человека-оператора / Кашапова И. Е., Щербаков В. С., Корытов М. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2021132320; заявл. 08.11.2021; опубл. 07.02.2022, Бюл. N 4. – 2 с.

3. Пат. 210303 Российская Федерация: МПК В 60 N 2/50. Сиденье с квазиулевым жесткостью оператора мобильной машины / Кашапова И. Е., Щербаков В. С., Корытов М. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2022103331; заявл. 10.02.2022; опубл. 06.04.2022, Бюл. N 10. – 5 с.

4. Пат. 211548 Российская Федерация: МПК В 60 N 2/50. Виброзащитная система с квазиулевым жесткостью сиденья оператора / Кашапова И. Е., Щербаков В. С., Корытов М. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2022107416; заявл. 22.03.2022; опубл. 14.06.2022, Бюл. N 17. – 5 с.

5. Пат. 211587 Российская Федерация: МПК В 60 N 2/50. Сиденье с квазиулевым жесткостью / Кашапова И. Е., Щербаков В. С., Корытов М. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2022107415; заявл. 22.03.2022; опубл. 15.06.2022, Бюл. N 17. – 2 с.

6. Пат. 2779919 Российская Федерация: МПК В60N 2/50; В60N 2/38; В60N 2/42. Способ и устройство формирования заданной формы квазиулевым статической характеристики виброзащитного механизма сиденья оператора / Кашапова И. Е., Щербаков В. С., Корытов М. С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – N 2022101550; заявл. 25.01.2022; опубл. 15.09.2022, Бюл. N 26. – 10 с.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021612124 Российская Федерация. Модель для исследования перемещений виброзащитного механизма с участком квазиулевым жесткости кресла человека-оператора землеройно-транспортной машины / М. С. Корытов, В. С. Щербаков, И. Е. Почекуева; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – № 2021611342; заявл. 10.02.2021 ; опубл 11.02.2021. – 1 с.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022612237 Российская Федерация. Методика синтеза статической силовой характеристики с участком квазиулевого жесткости виброзащитной системы сиденья / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, И. Е. Кашапова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – № 2022611472; заявл. 07.02.2022 ; опубл 19.02.2022. – 1 с.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023615871 Российская Федерация. Комплексная имитационная модель автогрейдера с подсистемами виброзащитных опор кабины и виброзащитного механизма сиденья / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, И. Е. Кашапова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – № 2023613310; заявл. 27.02.2023; опубл 20.03.2023, Бюл. № 3. – 1 с.

Статьи в сборниках материалов конференций и других изданиях:

1. Кoryтов М. С. Виброзащитная система с нелинейными упругими и демпфирующими характеристиками / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Почекуева // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 2020. – № 1. Т. 8. – С. 46 – 54.

2. Кoryтов М. С. Интерполяция экспериментальных значений параметров рабочего процесса строительной машины в пространстве данных произвольной размерности / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Почекуева // Материалы IV Международной научно-технической конференции: Проблемы машиноведения. – Омск: ОмГТУ, 2020. – С. 464 – 470.

3. Кoryтов М. С. Использование пакетов тарельчатых пружин в виброзащитном механизме кресла оператора / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Кашапова, В.В. Деркач // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 2021. – № 1. Т. 9. – С. 42 – 51.

4. Кoryтов М. С. Исследование колебаний кресла на виброзащитной подвеске с эффектом квазиулевого жесткости при синусоидальном возбуждении / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Почекуева // Материалы V Международной научно-технической конференции Проблемы машиноведения. – Омск: ОмГТУ, 2021. – С. 53 – 61.

5. Кoryтов М. С. Исследование формы внешних участков статической характеристики виброзащитной подвески с участком квазиулевого жесткости / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Кашапова, А. А. Охотников // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 2021. – № 1. Т. 9. – С. 51 – 57.

6. Кoryтов М. С. Моделирование колебаний груза на виброзащитной подвеске с подвижным основанием / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Почекуева // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 2020. – № 1. Т. 8. – С. 62 – 70.

7. Кoryтов М. С. Роликовый виброзащитный механизм с участком квазиулевого жесткости / М. С. Кoryтов, В. С. Щербаков, В. В. Титенко, И. Е. Почекуева // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 2020. – № 1. Т. 8. – С. 55 – 62.

8. Кoryтов М. С. Варианты математических описаний вертикальных колебаний сиденья оператора на виброзащитной подвеске / М.С. Кoryтов, В. С. Щербаков, И.Е. Кашапова // Сборник материалов V Национальной научно-практической конференции: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. – Омск: СибАДИ, 2022. – С. 71-76.

9. Почекуева И. Е. Анализ гасителей колебаний на рабочем месте человека-оператора землеройно-транспортной машины / И. Е. Почекуева, В. С. Щербаков, Е. А. Кашапов // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 95-98.

10. Почекуева И. Е. Анализ коэффициентов передачи воздействий со стороны микрорельефа на кресло человека-оператора автогрейдера // Сборник материалов IV

Национальной научно-практической конференции: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 132-138.

11. Почекуева И. Е. Анализ упругих элементов, используемых в подвесках кресел человека-оператора землеройно-транспортных машин / И. Е. Почекуева // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2020. – С. 33-37.

12. Почекуева И. Е. Влияние неровностей микрорельефа на перемещение кресла человека-оператора автогрейдера / И. Е. Почекуева // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 36-41.

13. Почекуева И. Е. Защита от динамических воздействий человека-оператора одноковшового экскаватора, оборудованного гидроударными механизмами / И. Е. Почекуева // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 63-67.

14. Почекуева И. Е. Математическое описание автогрейдера, как объекта управления / И. Е. Почекуева, В. С. Щербаков, М. С. Корытов // Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. – Омск: СибАДИ, 2020. – С. 112-115.

15. Почекуева И. Е. Применение тарельчатых пружин в виброзащитных подвесках кресел человека-оператора землеройно-транспортных машин / И. Е. Почекуева, В. С. Щербаков, М. С. Корытов // Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 127-131.

16. Почекуева И. Е. Разработка мероприятий по снижению вредного влияния вибрации на человека-оператора землеройных машин активного действия / И. Е. Почекуева, М. В. Суковин // Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 114-119.

17. Почекуева И.Е. Анализ возмущающих воздействий со стороны микрорельефа на землеройно-транспортную машину // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 96-100.

18. Почекуева И.Е., Щербаков В.С., Корытов М.С. Анализ подвески кресла человека-оператора с упругими элементами // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: Проблемы, Перспективы, Инновации. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 91-95.

19. Pochekueva I.E. Analysis of vibration protection devices designed to protect the human operator of the earthmoving transport machine from dynamic influences / I. E. Pochekueva, L. F. Rakhuba // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: Проблемы, Перспективы, Инновации. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 90-94.

20. Pochekueva I.E. Investigation into the reduction of dynamic impact on the human operator of motor grader / I. E. Pochekueva // Сборник статей V Международной научно-практической конференции Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей. – Омск: СибАДИ, 2020. – С. 312-315.

21. Кашапова И.Е. Формирование статических характеристик упругих элементов с участком квазиулевой жесткости кресел строительных машин // Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: Проблемы, Перспективы, Инновации» – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 72-75.

22. Кашапова И.Е., Щербаков В.С., Корытов М.С. Виброзащитная подвеска с квазиулевой жесткостью сиденья человека-оператора // Сборник материалов VI

Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: Проблемы, Перспективы, Инновации» – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 76-79.

23. Кашапова И.Е., Корытов М.С., Щербаков В.С., Титенко В.В., Колунина Ю.А. Конструктивные разновидности виброзащитной системы сиденья оператора // Сборник материалов VI Международной научно-технической конференции «Проблемы машиноведения» – Омск: ОмГТУ, 2022. – С. 38-44.

24. Кашапова И. Е. Виброзащитная система сиденья человека-оператора землеройно-транспортной машины на основе параллелограммного механизма // Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных». – Омск: СибАДИ, 2022. – С. 65-69.

25. Кашапова И.Е., Щербаков В.С., Корытов М.С. Анализ квазиулевого статической характеристики виброзащитного сиденья человека-оператора // Сборник материалов VI Межведомственной научно-практической конференции «Транспортные средства специального назначения: разработка, производство и модернизация» – Омск: ОАИИ, 2022. – С. 97-104.

Отчет о проверке на заимствования №1



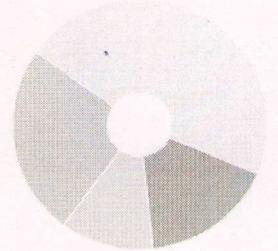
Автор: Кашапова Ирина Евгеньевна
Проверяющий: Лазута Иван Васильевич
Организация: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://sibadi.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 374
 Начало загрузки: 08.06.2023 17:09:29
 Длительность загрузки: 00:00:25
 Имя исходного файла: НД Кашапова.docx
 Название документа: НД Кашапова
 Размер текста: 66 КБ
 Тип документа: Научно-квалификационная работа
 Символов в тексте: 67276
 Слов в тексте: 7879
 Число предложений: 974

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 08.06.2023 17:09:55
 Длительность проверки: 00:01:47
 Корректировка от 08.06.2023 17:26:31
 Комментарии: [Автосохраненная версия]
 Поиск с учетом редактирования: да
 Проверенные разделы: основная часть с. 1-31
 Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства Wiley, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Модуль поиска "sibadi", Шаблонные фразы, Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования



СОВПАДЕНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
17,1%	24,56%	11,58%	46,76%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самцитирования — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирования — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

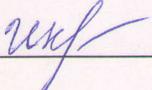
№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	12,66%	12,49%	Исследование виброзащитной системы сиденья с квазиузуловой жесткостью при стохастических воздействиях на элементы ходового оборудования автогрейдера. https://elibrary.ru	18 Апр 2023	eLIBRARY.RU	20	21	
[02]	11,44%	10,93%	не указано	29 Сен 2022	Библиография	6	3	
[03]	10,81%	0,36%	Автореферат https://sibadi.org	03 Ноя 2022	Интернет Плюс*	6	103	
[04]	10,07%	0,13%	Диссертация https://sibadi.org	03 Ноя 2022	Интернет Плюс*	2	98	

Заявление о самостоятельном характере
выпускной квалификационной работы

Я, Кашапова Ирина Евгеньевна, аспирант 4 курса специальности/направления подготовки 15.06.01 «Машиностроение» заявляю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему: «Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины» представленной в ГЭК для публичной защиты, не содержится элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее ВКР и письменных студенческих работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим в ФГБОУ ВО «СибАДИ» Положением «О порядке проверки выпускных квалификационных работ на объём заимствований в системе «Антиплагиат. ВУЗ»».

Кашапова И. Е. ()

14.06.2023г.

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ НА НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
об основных результатах научно-квалификационной работы
(диссертации)**

аспиранта Кашаповой Ирины Евгеньевны 4 курса очной формы обучения по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение» научной направленности «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» на тему: «Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины».

Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины является актуальной проблемой для науки и общества в целом. В работе аспиранта четко и ясно сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования. Содержание научного доклада раскрывает тему проводимых исследований.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса. Рассмотрен способ формирования квазинулевой статической характеристики виброзащитной системы сиденья. Обоснован научный подход к достижению поставленной цели и решению задач исследований.

Во второй главе представлена общая методика исследований, базирующаяся на методологии системного анализа.

Третья глава посвящена обоснованию критерия эффективности виброзащитной системы сиденья человека-оператора, разработке математических моделей отдельных подсистем и всей системы в целом, разработке комплексной имитационной модели автогрейдера с подсистемами виброизоляции кабины и сиденья в обозначениях Simulink/Simscapе Multibody.

В четвертой главе представлены результаты теоретических исследований. Проведен расчет социального и экономического эффекта от внедрения сиденья с квазинулевой жесткостью

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований. Подтверждена адекватность математической модели. Разработана методика оптимизации параметров виброзащитной системы сиденья человека-оператора. Предложены запатентованные варианты технической реализации систем виброзащиты с квазинулевой жесткостью.

Результаты исследований Кашаповой И.Е. представлены в 52 печатных работах, из них 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 8 статей в изданиях, включенных в международную базу «Scopus», 1 патент РФ на изобретение, 5 патентов РФ на полезную модель, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Кашапова И.Е. приняла участие в 18 научных конференциях, в том числе международных.

В целом научный доклад выполнен в соответствии с направлением 15.06.01 «Машиностроение» научной направленностью «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины», а также требованиям, предъявленным к научному докладу по научно-квалификационной работе (диссертации).

Научный доклад по научно-квалификационной работе (диссертации) «Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины» Кашаповой И.Е. по направлению 15.06.01 «Машиностроение» научной направленности «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» заслуживает оценки отлично.

Д.т.н., профессор

В.С. Щербаков



ИЗДАНО: С.С. Суровцева
Вед. документовед отдела кадров работников УПиКО
15 июня 20 23 г.

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «АиЭМ»

Сухарев Р.Ю.

«15» июня 2023 г.

**Заключение
кафедры «Автоматизация и энергетическое машиностроение» (АиЭМ)**

Научный доклад «Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины» выполнен в ФГБОУ ВО «СибАДИ» аспирантом группы МАШ-19МА1 4 курса очной формы обучения направления 15.06.01 «Машиностроение» направленности «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины».

Научный руководитель – Щербаков Виталий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «АиЭМ» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

- научный доклад по научно-квалификационной работе (диссертации) Кашаповой Ирины Евгеньевны соответствует направлению 15.06.01 «Машиностроение» направленности «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины», в соответствии с которым он заявлен;

- основные положения научного доклада Кашаповой И.Е. опубликованы в виде 43 печатных статей, включенных в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), из них 8 статей в изданиях, индексируемые в реферативных базах данных SCOPUS и 10 статей в изданиях перечня ВАК, а также получены 5 патентов на полезную модель, 1 патент на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

- в научном докладе отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени;

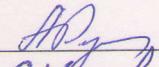
- в научном докладе использовал добросовестные заимствования из ряда публикаций с соответствующими ссылками (17,1%).

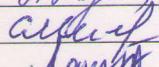
На основании изложенного, комиссия в составе 3 человек рекомендует, научный доклад по научно-квалификационной работе (диссертации) Кашаповой И.Е. на тему: «Снижение динамических воздействий на человека-оператора землеройно-транспортной машины» к защите в ГЭК ФГБОУ ВО «СибАДИ».

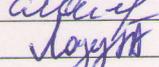
Заключение принято на заседании кафедры «АиЭМ», протокол № 10 от 15.06.2023 г.

Присутствовало на заседании 12 человек.

Результаты голосования: «за» - 12 человек; «против» - 0 человек; «воздержалось» - 0 человек.

Члены комиссии: канд-т техн. наук, доцент, Руппель А.А. / 

канд-т техн. наук, доцент, Милошенко С.А. / 

канд-т техн. наук, доцент, Засута И.В. / 



Исполнитель:  С.С. Суровцева

документовед отдела кадров работников УПиКО

15 июня

2023 г.

Рецензия

на научный доклад Кашаповой Ирины Евгеньевны
на тему: «Снижение динамических воздействий на человека-оператора
землеройно-транспортной машины»

На рецензию представлен научный доклад научно-квалификационной работы (диссертации) на 30 страницах.

Актуальность – представленная работа направлена на решение актуальной проблемы в области машиностроения, заключающейся в снижении динамических воздействий на рабочем месте человека-оператора автогрейдера.

Научная новизна заключается в обосновании научного подхода формирования участка квазинулевой жесткости статической силовой характеристики виброзащитной системы сиденья человека-оператора, в обосновании способа подстройки виброзащитной системы сиденья под изменяющуюся массу человека-оператора, в разработанной математической модели виброзащитной системы сиденья человека-оператора; в разработанной имитационной модели сложной динамической системы «микрорельеф – базовая машина – кабина – виброзащитная системы сиденья человека-оператора»; в выявленных функциональных зависимостях, связывающих конструктивные размеры, возмущающие воздействия с уровнем вибрации на рабочем месте человека-оператора автогрейдера; в разработке методики оптимизации параметров виброзащитной системы сиденья человека-оператора.

Достоверность обеспечивается использованием апробированных научных методов исследования. Результаты исследования докладывались и получили положительные отзывы на 18 научных конференциях различного уровня.

Практическая значимость заключается в разработанных новых высокоэффективных конструкциях виброзащитных систем сидений, которые защищены патентами на изобретение и на полезные модели РФ, и их научном обосновании, в разработке инженерной методики оптимизации параметров виброзащитной системы сиденья человека-оператора.

Апробация – в процессе подготовки научно-квалификационной работы (диссертации) аспирант выступал на 18 научных конференциях. Основные положения научно-квалификационной работы (диссертации) отражены в научных публикациях.

Ценность научных работ аспиранта подтверждена наличием 52 печатных работ, из них 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования
«Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет
(СибАДИ)»
(ФГБОУ ВО «СибАДИ»)

644080, г. Омск, пр. Мира, 5.
Тел/факс (3812) 65-03-23, 65-03-22.
mail: info@sibadi.org, www.sibadi.org

СПРАВКА № 69

Выдана Кашаповой Ирине Евгеньевне,
(фамилия, имя, отчество)

в том, что она сдала кандидатские экзамены по научной специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы, отрасль науки Технические науки,
(шифр, наименование) (наименование)

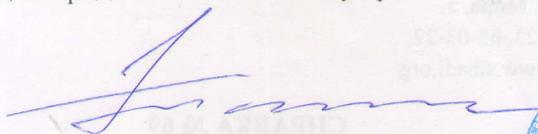
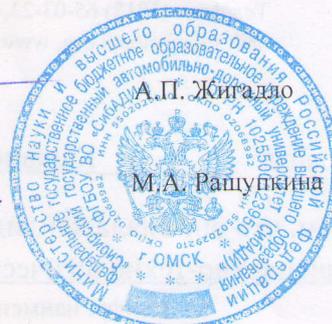
по следующим дисциплинам:

№ п/п	Название дисциплины	Оценка, дата сдачи экзамена	Фамилия, инициалы, должность, ученые степень и звание членов экзаменационной комиссии
1	Иностранный язык (английский)	отлично 04.05.2020	Председатель: Ефименко И.Н. - канд. филол. наук, доцент, заведующая кафедрой «Иностранные языки»; Зам. Председателя: Рахуба Л.Ф. – канд. пед. наук, доцент кафедры "Иностранные языки"; Члены комиссии: Цыгулева М.В. – канд. пед. наук, доцент кафедры "Иностранные языки". Руппель А.А. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника»
2	История и философия науки	отлично 08.05.2020	Председатель: Рыбникова И.Ю. – канд. филос. наук, доцент, заведующий кафедрой «Философия»; Зам. Председателя: Ветров С.А. – д-р филос. наук, доцент, профессор кафедры «Философия» – (внешний совместитель кафедры); Члены комиссии: Шугуров Л.М. – канд. филос. наук, доцент, доцент кафедры "Философия"; Ополев П.В. – канд. филос. наук, доцент, доцент кафедры «Философия».

3	Дорожные строительные подъемно- транспортные машины	Отлично 03.05.2023	Председатель: Кузнецова В.Н. – д-р техн. наук, проф., проректор по образовательной деятельности, проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники»; Зам. Председателя: Корчагин П.А. – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и цифровой трансформации, проф. кафедры «Общепрофессиональные дисциплины»; Член комиссии: Савельев С.В. – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».
---	-----------------------------------------------------------	-----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Справка дана для предъявления по месту требования.

Ректор

Заведующий отделом аспирантуры



13.06.2023 г.

Председатель комиссии: Кузнецова В.Н. – д-р техн. наук, проф., проректор по образовательной деятельности, проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники»; Зам. Председателя: Корчагин П.А. – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и цифровой трансформации, проф. кафедры «Общепрофессиональные дисциплины»; Член комиссии: Савельев С.В. – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».	Отлично 03.05.2023	
Председатель комиссии: Кузнецова В.Н. – д-р техн. наук, проф., проректор по образовательной деятельности, проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники»; Зам. Председателя: Корчагин П.А. – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и цифровой трансформации, проф. кафедры «Общепрофессиональные дисциплины»; Член комиссии: Савельев С.В. – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».	Отлично 03.05.2023	
Председатель комиссии: Кузнецова В.Н. – д-р техн. наук, проф., проректор по образовательной деятельности, проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники»; Зам. Председателя: Корчагин П.А. – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и цифровой трансформации, проф. кафедры «Общепрофессиональные дисциплины»; Член комиссии: Савельев С.В. – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».	Отлично 03.05.2023	