

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 681.3.06.:629.027

МИКУЛИК Татьяна Николаевна

**ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ
СИСТЕМЫ «ОПЕРАТОР-СИДЕНЬЕ» КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

М и н с к 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

РЕЙЗИНА Галина Николаевна,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Высшая математика № 1» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

АЛЬГИН Владимир Борисович,
доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе
ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»;

ПОВАРЕХО Александр Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Тракторы» Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Защита состоится 16 мая 2014 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.04 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202. Телефон ученого секретаря 292-83-85.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «___» апреля 2014 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций

Ч.И. Жданович

© Микулик Т.Н., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области транспортной безопасности свидетельствуют о том, что основной причиной дорожных происшествий и производственных аварий является человеческий фактор. Так, 57 % аварий происходит вследствие ошибки оператора, 2,4 % – из-за технической неисправности, 4,7 % – неблагоприятной окружающей среды, а 35,9 % происшествий случаются в силу сложного сочетания вышеприведенных факторов. Таким образом, важное место в вопросах обеспечения безопасности занимает человек-оператор, подверженный влиянию окружающей среды и вибронагруженности системы «оператор–машинно-тракторный агрегат (МТА)», точнее, его функциональные составляющие на рабочем месте.

В настоящее время используются два основных пути повышения эффективности деятельности оператора колесного трактора. Первый основан на учете психофизиологических характеристик оператора и связан с комплексной оптимизацией условий труда. Однако особенности деятельности оператора таковы, что вышеупомянутым методом невозможно учитывать и контролировать информационные перегрузки, факторы изменения функционального состояния оператора, поведение во внештатных и аварийных ситуациях. Второй путь повышения эффективности деятельности оператора как лица, принимающего решения и выполняющего алгоритмы деятельности, – контроль функционального состояния и правильности выполнения функций непосредственно в процессе осуществления технологических операций. В этой связи учет факторов, влияющих на эффективность выполнения оператором алгоритмов деятельности и функциональных возможностей систем поддержки работоспособности с использованием мониторинга физиологических параметров, диагностики функционального состояния оператора колесного трактора, является важной научной проблемой.

Необходимость ее решения связана с ограниченностью информации и методов исследования реакций оператора (водителя) и с совершенствованием методов исследования эффективности взаимодействия системы «оператор–колесный трактор» с учетом вибронагруженности оператора на основе мониторинга его физиологического состояния с целью улучшения виброзащитных свойств системы и, как следствие, прогнозирование вибрационной нагрузки на него.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2010-2015 годы «7. Машиностроение. Системы и комплексы сельскохозяйственных машин. Контроль и диагностика в машиностроении», подраздел 7.1 (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585) и исследования выполнялись в рамках ГБ 09-52 «Разработка математической модели управляемого демпфирующего устройства применительно к подвеске

транспортного средства» (№ ГР 20093168, 2009–2010 гг.) и договора о научно-техническом сотрудничестве № 6 с РУП «МТЗ» «Анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований функционального состояния системы “водитель–ТС–дорога”» (№ ГР 20101080, 2009–2010 гг.) в соответствии с ГНТП «Машиностроение», подпрограмма «Тракторостроение», задание АТ 02.30.

Цель и задачи исследования – повышение активной виброзащиты системы «оператор-сиденье» колесного трактора с использованием функциональной диагностики при выполнении оператором технологических операций.

Для достижения цели исследования поставлены следующие задачи:

- провести исследования виброзащитных свойств системы «оператор–сиденье» с целью анализа упругодемпфирующих характеристик сиденья колесного трактора и дать оценку эффективности виброзащиты;
- разработать основные принципы и методику расчета процесса нагружения системы «оператор–сиденье» колесного трактора с учетом упругодемпфирующих характеристик сиденья и физиологического состояния оператора;
- разработать методику и способ диагностики физиологического состояния оператора;
- провести экспериментальные исследования физиологического состояния оператора на рабочем месте с помощью компьютерной диагностики;
- разработать алгоритм управления подвеской сиденья по оценке индекса напряжения оператора, представленной в виде электрических сигналов;
- разработать и внедрить методику диагностики функционального состояния системы «оператор–сиденье».

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является система «оператор–сиденье» колесного трактора. Предмет исследования – виброзащитные качества системы («оператор – сиденье» колесного трактора) и средств виброзащиты оператора.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены на основании законов механики, математики и планирования эксперимента.

Экспериментальные исследования проведены в Испытательном центре тракторной техники (ИЦ «Трактор») с помощью специализированной контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с нормативными документами.

Обработка экспериментальных данных выполнена методами математической статистики и численной обработки сигналов.

Положения, выносимые на защиту:

- методика и расчет виброн нагруженности системы «оператор–сиденье» колесного трактора при взаимодействии с внешней средой с учетом высокочастотных и ударных возмущений для обоснования и реализации диагностики физиологического состояния оператора;
- методика и средства оценки виброн нагруженности системы «оператор–сиденье» колесного трактора, отличающаяся учетом физиологических факторов оператора в условиях эксплуатации, позволяющая провести анализ динамического состояния системы с целью повышения виброзащиты;

– алгоритм управления колебательной системой «оператор–сиденье», *отличающийся* саморегуляцией функционального состояния оператора, что *позволит дать* оценку эффективности алгоритма управления на основе биообратной связи;

– способ диагностирования функционального состояния оператора колесного трактора в процессе его (оператора) деятельности, основанный на принципе регистрации изменения показателей физиологического состояния, их анализа и выдачи предупреждающего сигнала, *отличающийся* от существующих систем оценок физиологического состояния оператора учетом его индекса напряжения. Новизна подтверждена патентом на изобретение Республики Беларусь;

– макетный образец рулевого колеса со встроенным экспресс-анализатором, *представляющий собой новый* информационный источник для управления системой «оператор–сиденье» по показателю «индекс напряжения», *позволяющий* своевременно обнаружить нештатные ситуации, связанные с эксплуатацией колесного трактора;

– конструктивное решение упругого элемента подвески, *отличающееся* тем, что в нем вместо системы рычагов и кронштейнов применен фигурный прут из пружинной стали, что *дает возможность* снижения поперечных и продольных деформаций. Новизна подтверждена патентом Республики Беларусь.

Личный вклад соискателя. Теоретические и экспериментальные исследования, представленные в диссертационной работе, выполнены автором как самостоятельно, так и в соавторстве. Автором лично разработаны математические модели определения вибронагруженности оператора колесного трактора, методика анализа вибронагруженности по вибрационной мощности на основе полного факторного эксперимента, разработаны алгоритм управления подвеской сиденья по физиологическому показателю «индекс напряжения», методика и способ диагностирования функционального состояния оператора.

Обсуждение результатов и консультирование по основным вопросам диссертации осуществлялось с научным руководителем Г.Н. Рейзиной. Совместно с научным руководителем разработано конструкторское решение подвески сиденья. Помощь в проведении эксперимента оказали главный конструктор РУП «МТЗ» А.Г. Стасилевич и начальник экспериментального цеха ИЦ «Трактор» С.А. Гетелюк.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 5, 6, 7, 8-й Международных конференциях «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2007, 2008, 2009, 2010 гг.), X, XI, XII Республиканских научных конференциях студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, 2007, 2008, 2009 гг.), Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф. В. А. Скотникова «Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития» (Минск, 2009 г.),

Международной математической конференции «Актуальные проблемы анализа» (Гродно, 2009 г.), Международной научно-технической конференции «Автоматизация технологических процессов» (Минск, 2011 г.).

Опубликованность результатов диссертации. Основные положения диссертации опубликованы в 22 печатных работах, из них 7 статей – в соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, объемом 2,44 а. л., 13 – в материалах региональных и международных конференций, 1 патент на полезную модель, 1 патент на изобретение «Способ диагностики функционального состояния водителя, управляющего автотранспортным средством, для предупреждения нештатных ситуаций». Общий объем публикаций составляет 5,10 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав основного текста, заключения, списка использованных источников и публикаций соискателя и приложений. Полный объем – 162 страницы, включая 40 иллюстраций на 17 страницах, 24 таблицы на 10 страницах, список использованных источников из 122 наименований на 9 страницах, список публикаций автора из 22 наименований на 3 страницах, 10 приложений на 29 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** дано обоснование актуальности темы диссертации и определены основные задачи исследования, решение которых необходимо для достижения поставленной цели: повышения эффективности функционирования колесных тракторов путем минимизации негативных аспектов человеческого фактора непосредственно во время выполнения оператором технологических операций.

В **первой главе** приведен аналитический обзор литературы по вопросам исследования физиологического состояния оператора в процессе управления транспортными системами, дан анализ существующих систем поддержки работоспособности операторов (водителей) колесных машин различных фирм, установлено, что колебания с частотой до 3–5 Гц вызывают реакции вестибулярного аппарата, колебания с частотами от 3–5 до 11 Гц вызывают резонансные колебания человеческого тела (голова, таз, брюшная полость, позвоночник). Колебания человека с частотами 11–45 Гц могут сопровождаться расстройствами некоторых внутренних органов. Серьезные изменения (вибрационная болезнь) происходят при механических колебаниях с частотами свыше 45 Гц.

Влияние колебаний на важнейшую характеристику оператора (водителя) – безошибочность его действий и надежность управления – приводит к потере контроля над транспортным средством, что является причиной 70 % общего числа аварий. В большей степени это относится к сельскохозяйственной технике.

Проблемам безопасности оператора (водителя) при выполнении алгоритмов управления посвящены труды отечественных и зарубежных

исследователей, в которых приведены общие математические модели, критерии и ограничения, алгоритмы анализа и оптимизации колебаний мобильных машин, однако функциональное состояние оператора при этом не учитывается.

Проанализировав состояние работ по математическому моделированию влияния динамических нагрузок на систему «водитель–колесная машина», автор сделал вывод о необходимости создания системы поддержки принятия решений, реализующей достаточный круг задач анализа, в том числе минимизации влияния негативных аспектов человеческого фактора непосредственно во время выполнения оператором алгоритмов управления колесной машиной.

Во второй главе разработаны методики проведения теоретических исследований вибронегруженности оператора колесного трактора при различных видах воздействий. В результате расчетов предложен показатель оценки ощущений человека-оператора по вибрационной мощности $W(\omega, \eta)$ с косинусоидальной z_c и синусоидальной z_s составляющими обобщенного вектора z_0 на основе скалярного произведения векторов приложенной силы $\bar{F}(t)$ и виброскорости \bar{v} :

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{F}(t) \cdot \bar{v}(t) dt :$$

$$W(\omega, \eta) = 0,5 \sum_{\omega=\omega_n}^{\omega_k} \omega^2 (Bz_c^2 + Bz_s^2), \quad (1)$$

где ω_n, ω_k – рассматриваемый диапазон частот, Гц, действующих на систему поддрессоривания сиденья водителя; η – демпфирование системы; B – матрица коэффициентов демпфирования.

Разработанный показатель $W(\omega, \eta)$ позволяет суммировать действия колебаний, происходящих с различными частотами, определить зависимость от частоты и демпфирования системы.

При проведении компьютерных исследований вибронегруженности рабочего места оператора (водителя) рассмотрены колебания только части трактора («колесо–остов–кабина–сиденье»), содержащей кабину и сиденье оператора и состоящей из четырех масс, которые связаны между собой соответствующими упругодемпфирующими элементами, характеризующимися

жесткостью и вязким сопротивлением (демпфированием), рисунок 1.

Математическая модель, соответствующая принятой расчетной схеме, позволяет выполнить динамический анализ вертикальных и угловых колебаний с целью предварительной оценки колебательных процессов. Угловые колебания возникают в результате перераспределения нагрузки по осям при изменении тягового сопротивления плуга.

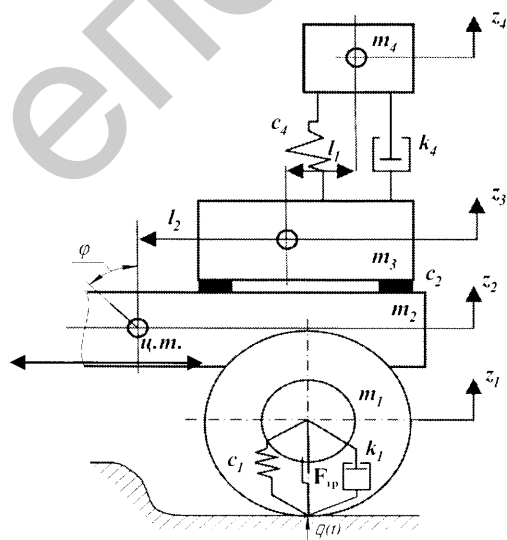


Рисунок 1 – Схема колебаний системы «колесо–остов–кабина–сиденье»

Уравнение динамического равновесия каждой массы с учетом сил упругого и вязкого сопротивлений состоит из четырёх дифференциальных уравнений второго порядка с четырьмя неизвестными z_1, z_2, φ, z_4 и имеет вид

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c_1(z_1 - q) + k_1(\dot{z}_1 - \dot{q}) + F_{\text{тр}} - c_2(z_2 - z_1) = 0; \\ (m_2 + m_3) \ddot{z}_2 + m_3 l_2 \ddot{\varphi} + c_2(z_2 - z_1) - \\ - c_4(z_4 - z_2 - l_2 \varphi) - k_4(\dot{z}_4 - \dot{z}_2 - l_2 \dot{\varphi}) = 0; \\ (I_0 + m_3 l_2^2) \ddot{\varphi} + c_3 l_2 \varphi - c_4(z_4 - z_2 - l_2 \varphi) l - \\ - k_4 l (\dot{z}_4 - \dot{z}_2 - l_2 \dot{\varphi}) + m_3 \ddot{z}_3 l_2 = 0; \\ m_4 \ddot{z}_4 + c_4(z_4 - z_2 - l \varphi) + k_4(\dot{z}_4 - \dot{z}_2 - l \dot{\varphi}) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где m_1 – масса ведущего заднего колеса в сборе, кг; $F_{\text{тр}} = F \operatorname{sgn}(\dot{z}_1)$ – сила трения, Н; m_2 – масса остова, кг; m_3 – масса кабины, кг; m_4 – масса сиденья с оператором, кг; z_i – вертикальные перемещения масс, м, $i = 1, 2, 3, 4$; φ – угловые перемещения, радиан; c_i – жесткость упругих элементов соответствующих масс, Н/м; k_i – коэффициент демпфирования масс, Н·с/м; $i = 1, 2, 3$; $l = l_1 + l_2$; l_1, l_2 – координаты центра тяжести, м; I_0 – момент инерции колес трактора, кг·м².

Начальные условия для системы (2):

$$t \geq t_0, z_1(t_0) = z_{10}; \dot{z}_1(t_0) = \dot{z}_{10}; z_2(t_0) = z_{20}; \dot{z}_2(t_0) = \dot{z}_{20}; z_4(t_0) = z_{40}; \dot{z}_4(t_0) = \dot{z}_{40}; \varphi(t_0) = \varphi_0; \dot{\varphi}(t_0) = \dot{\varphi}_0.$$

Профиль единичной неровности задавался выражением

$$q(t) = \begin{cases} \frac{A_0}{2} (1 - \cos \omega t), & \text{если } t < \frac{l}{v} \\ 0, & \text{если } t \geq \frac{l}{v} \end{cases},$$

где $A_0 = 0,1$ м – амплитуда колебаний;

$l = 2$ м – длина неровности;

$v = 8-16$ км/ч – основная рабочая скорость.

При гармоническом воздействии $q(t) = A \sin \omega t$.

Система уравнений (2) представляет математическую модель части трактора «оператор-сиденье» с системой вторичного поддрессирования.

Установлено, что относительные амплитуды колебаний, передаваемые сиденью оператора (водителя), составляют 0,05–0,13 м, ускорения (1,5–3)g.

В работе исследованы реакции системы «оператор–сиденье» на ударное, гармоническое и полигармоническое возбуждение. Рассчитаны значения максимальной амплитуды z_{\max} при ударной нагрузке $P_0 = 50$ Н, $t = 0-20$ с, $\omega = 1,0$ Гц и $\omega = 3,0$ Гц. Величина $P_0 = 50$ Н рассматривается как наиболее часто встречающаяся при работе трактора на грунтовых дорогах, пахоте. Амплитуда колебаний в данном случае достигает 10 см.

С использованием коэффициента динамичности $K = |Z_{\max}|/|P_{\max}|$ (отношение усилия, передаваемого оператору (водителю), к максимальному значению ударного возбуждения) установлено, что система поддрессоривания эффективна (уменьшает ударное воздействие) при $K < 1$, собственная частота удовлетворяет неравенству $\omega_0 < \frac{\pi}{3t_0}$. Данному требованию отвечают упругопластинчатые демпфирующие элементы, в которых рассеивание энергии осуществляется за счет пластического кручения металла. Реализация этого требования выполнена в техническом решении [21].

При гармоническом воздействии на систему «оператор–сиденье» в зависимости от коэффициента Π передачи силы, коэффициента виброизоляции U и отношения частот $\eta = \frac{\omega_0}{\omega}$ получены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики системы (рисунок 2) [6].

Анализ зависимостей, приведенных на рисунке 2, показывает, что с увеличением частоты возмущения в два раза (на октаву) виброзащита возрастает на 6 дБ. При малом демпфировании или его отсутствии увеличение частоты возмущения на октаву сопровождается возрастанием виброизоляции на 12 дБ.

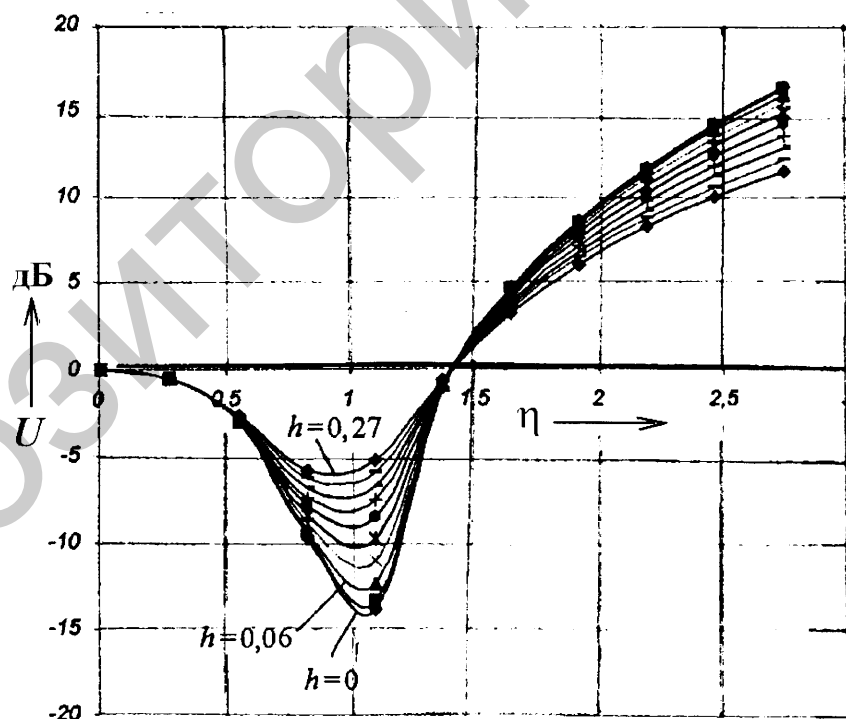


Рисунок 2 – Зависимости виброизоляции от изменения относительной частоты

Возникающие при работе силовой передачи полигармонические вибрационные силы, представленные рядом Фурье, вызывают колебания, неблагоприятно действующие на систему «оператор–сиденье» в диапазоне частот 25–100 Гц. Реакция системы от воздействия вынужденных колебаний

силовой установки есть сумма реакций на отдельные гармонические колебания. Уравнение вертикальных колебаний имеет вид [6]

$$m\ddot{z} + k\dot{z} + cz = \omega^2 \sum_{n=1}^{\infty} n^2 (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t), \quad (3)$$

где $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt$; $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt$ – коэффициенты ряда Фурье;

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{2\pi n}{T} t \text{ – возбуждающая сила.}$$

В результате графических исследований (3) получена сумма реакций, действующих на систему «оператор–сиденье» колесного трактора (рисунок 3). Первые четыре гармоники для периодической возбуждающей силы и их сумма приведены на рисунке 3, б [6].

Получена дисперсия ускорений высокочастотной составляющей, которая при заданных упругодиссипативных параметрах и внешних условиях имеет вид

$$D = \frac{1}{T_i} \int_0^{t_i} A_i^2 \exp(-2nt) \sin^2(\omega t + \varphi_i) dt = \frac{A_i^2}{T_i} \int_0^{t_i} \exp(-2nt) \sin^2(\omega t + \varphi_i) dt, \quad (4)$$

где A_i , φ_i – случайные начальные амплитуды и фаза колебаний, м и рад. соответственно.

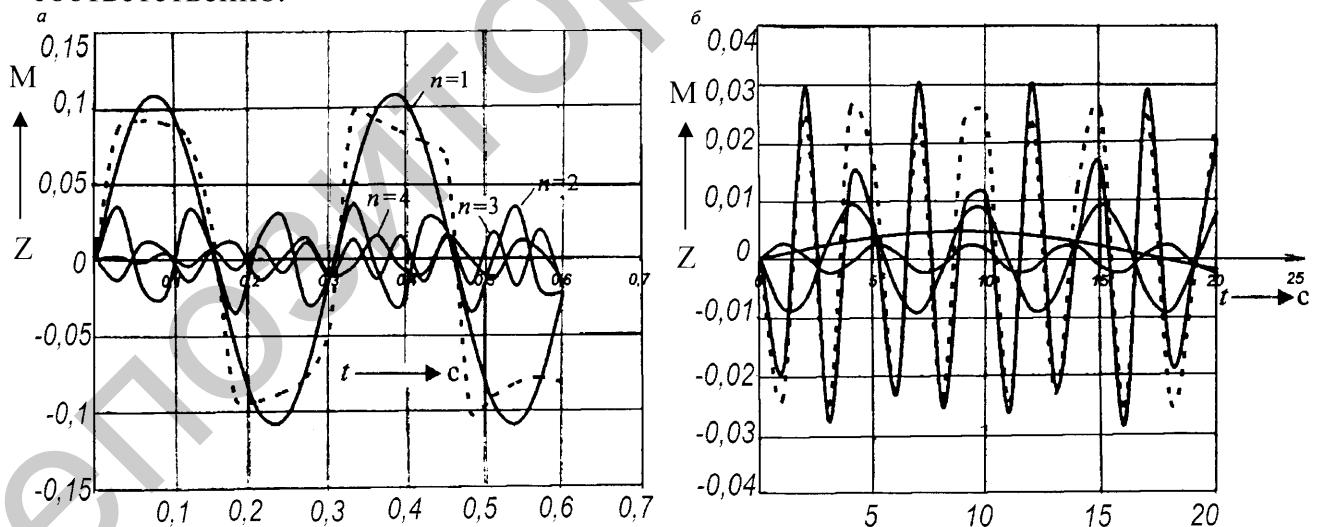


Рисунок 3 – Перемещения системы «оператор-сиденье колесного трактора» (б) от воздействия вынужденных колебаний силовой установки (а)

Равенство (4) позволяет оперативно спрогнозировать параметры вибронгруженности, соответствующие требованиям ГОСТ 12.1.012 «Вибрационная безопасность. Общие требования».

Таким образом, порядок определения вибронгруженности системы «оператор–сиденье» состоит в следующем [20]:

– определение допущений и исходных данных для поставленной задачи;
– выбор допустимого диапазона изменения варьируемых параметров с целью обеспечения безопасности оператора (водителя) с учетом санитарных норм. На основании критерия вибронегруженности водителя практически можно ограничиться рассмотрением колебаний в диапазоне 0–10 Гц.

В третьей главе разработана методика диагностирования физиологического состояния оператора, методы виброзащиты системы «оператор–колесный трактор» и предрасположенности оператора (водителя) к созданию аварийной ситуации из-за неблагоприятного сочетания управляющих воздействий на оператора в конкретных условиях (пахота, грунт), для решения которой необходимы устройства, способные информировать водителя о его физиологическом состоянии с целью устранения аварийной ситуации.

Технически такие задачи решает компьютерная система, дающая оператору (водителю) информацию о его физиологическом состоянии в конкретных дорожных условиях и предупреждающая его об опасности.

Из опыта исследований, проведенных автором в БНТУ, врачебно-педагогических наблюдений БГУ и материалов VII Всероссийского конгресса (Москва, январь 2009 г.) номенклатура физиологических параметров определялась автором следующим образом: из числа используемых в физиологии труда параметров выбирались только те, которые можно представить в виде электрических сигналов. Такими показателями (факторами) являются параметры биодинамической системы человека [4, 7]:

- частота сердечных сокращений (ЧСС), ударов/мин;
- вариационный размах (ВР) – разность времени между максимальным и минимальным интервалами сердечных сокращений за исследуемый период времени, с;
- амплитуда моды сердечного ритма (АМо), дающая представление о состоянии автономной регуляции и взаимосвязи двух отделов вегетативной иннервации сердца – симпатического и парасимпатического. Рост АМо иллюстрирует повышение активности симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС), снижение – парасимпатического;
- индекс напряжения регуляторных систем (ИН), характеризующий степень вмешательства в работу вегетативного контура отделов центральной нервной системы, ответственных за реакцию организма в момент высоких физических напряжений и стрессов во время выполнения оператором алгоритмов управления.

Автором совместно с сотрудниками МТЗ были проведены исследования физиологического состояния оператора (водителя) в процессе его профессиональной деятельности с учетом виброизоляции рабочего места на тракторах «Беларус-1221/2025А/3022ДВ», влияния на организм сложного комплекса условий: упругодемпфирующих свойств подвески, внешних условий движения.

На основании теоретических и экспериментальных данных получено уравнение регрессии вибрационной мощности $Y_{II}(x)$:

$$Y_{II}(x) = 28,375 + 0,125x_1 + 1,125x_2 - 0,625x_3 + 0,625x_4, \quad (5)$$

где x_1 – масса водителя (оператора), кг; x_2 – жесткость сиденья, Н/м; x_3 – коэффициент демпфирования Н·с/м; x_4 – возмущения со стороны дороги, м/с².

Автором исследовано влияние факторов x_1, x_2, x_3, x_4 на вибрационную мощность системы «оператор–сиденье», соответствующую предельно допустимому значению комфорта (средняя квадратическая величина отклонения $\ddot{z} = 1,63$ м/с², ГОСТ 12.1.012). В результате определены рациональные параметры системы поддрессорования (сиденья) трактора «Беларус-3022ДВ»: коэффициент демпфирования 0,4–0,6 Н·с/м, жесткость подвески $3,5 \cdot 10^3$ Н/м, собственная частота с водителем 1,3 Гц, обеспечивающие допустимые значения амплитуды вертикальных перемещений, равные 0,04–0,08 м, что соответствует ГОСТ 12.1.012.

На базе прибора "Экспресс-анализатор частоты пульса «Олимп»" разработан способ мониторинга функционального состояния оператора на тракторах «Беларус-1221/2025А/3022ДВ». Программно-техническое устройство вмонтировано в рулевое колесо, благодаря чему создается сервисно-программное обеспечение и возможность быстрого, точного и комфортного определения параметров функционального состояния оператора. Действие прибора основано на регистрации и анализе электрокардиограммы (ЭКГ), снимаемой с ладоней человека; физическое тестирование занимает не более 5 мин.

Обработка экспериментальных данных показала, что оценка ощущений оператора (испытателя) по мощности колебаний имеет положительную корреляцию, линейная зависимость которой в кодированных значениях факторов имеет вид [3, 4, 12]

$$W(\omega, \eta) = 0,04 + 0,27 \text{ ЧСС} + 0,08 \text{ ВР} + 0,14 \text{ АМо} + 0,18 \text{ ИН}. \quad (6)$$

На основании корреляционного анализа установлена степень влияния каждого физиологического параметра в зависимости от мощности, подводимой к сиденью оператора: влияние ЧСС – 40 %, ВР – 12 %, АМо – 21 %, ИН – 27 %.

Основное преимущество предлагаемой оценки состоит в том, что она позволяет рассматривать действия колебаний, происходящих с различными частотами. Предложенный способ диагностики воздействия системы «оператор–МГА» на физиологическое состояние оператора является, с одной стороны, системой предупреждения, что повысит его активную безопасность, с другой стороны, уже на стадии проектирования можно количественно оценить влияние изменения конструкции на эргономические показатели [7, 9].

Разработанные математические и программные средства позволяют повысить качество принимаемых решений при создании системы виброзащиты. Одним из таких решений является создание управляемой подвески сиденья оператора (водителя).

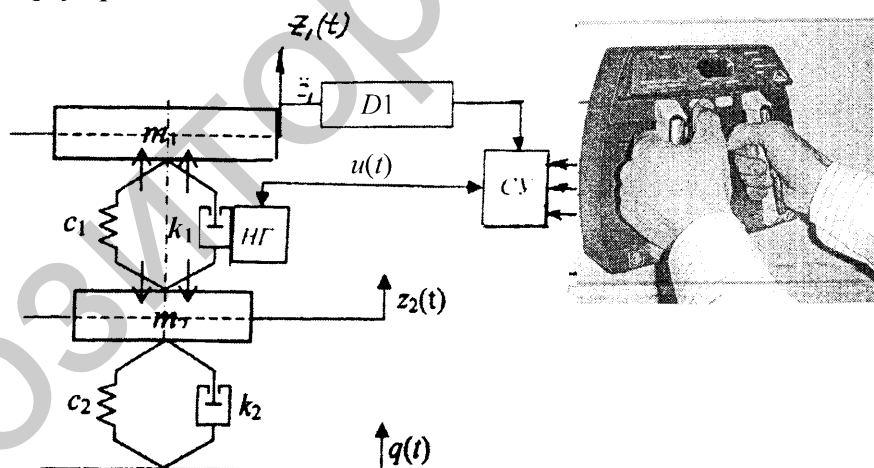
В качестве объекта управления системой «оператор–сиденье» рассмотрена двухмассовая колебательная система (рисунок 4). Роль управляющей системы выполнял бортовой экспресс-анализатор частоты пульса с оценкой «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», в зависимости от функционального состояния оператора. Исполняющим органом является амортизатор. Датчик $D1$ дает информацию о текущих координатах виброускорений в зависимости от ИН [5, 19].

Информационным сигналом для системы управления (СУ) являются сигналы обратных связей по индексу напряжения (ИН) оператора (водителя) или по виброускорению $\ddot{z}(t)$ [5]. Преобразуя эти сигналы в электрические, СУ вырабатывает сигнал управления, который воздействует на направляющий гидрораспределитель (НГ), регулируя поток рабочей жидкости. Назначение СУ – автоматически, без вмешательства оператора (водителя) обеспечить плавность хода.

Математическая модель системы виртуального управления с учетом упругодемпфирующей характеристики шины имеет вид

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 = \frac{1}{m_1}(u(t) - c_1(z_2 - z_1) - k_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_1)); \\ \ddot{z}_2 = \frac{1}{m_2}(c_2(q - z_2) + k_2(\dot{q} - \dot{z}_2) - c_1(z_2 - z_1) - k_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - u(t)), \end{cases} \quad (7)$$

где $u(t)$ – вектор управления.



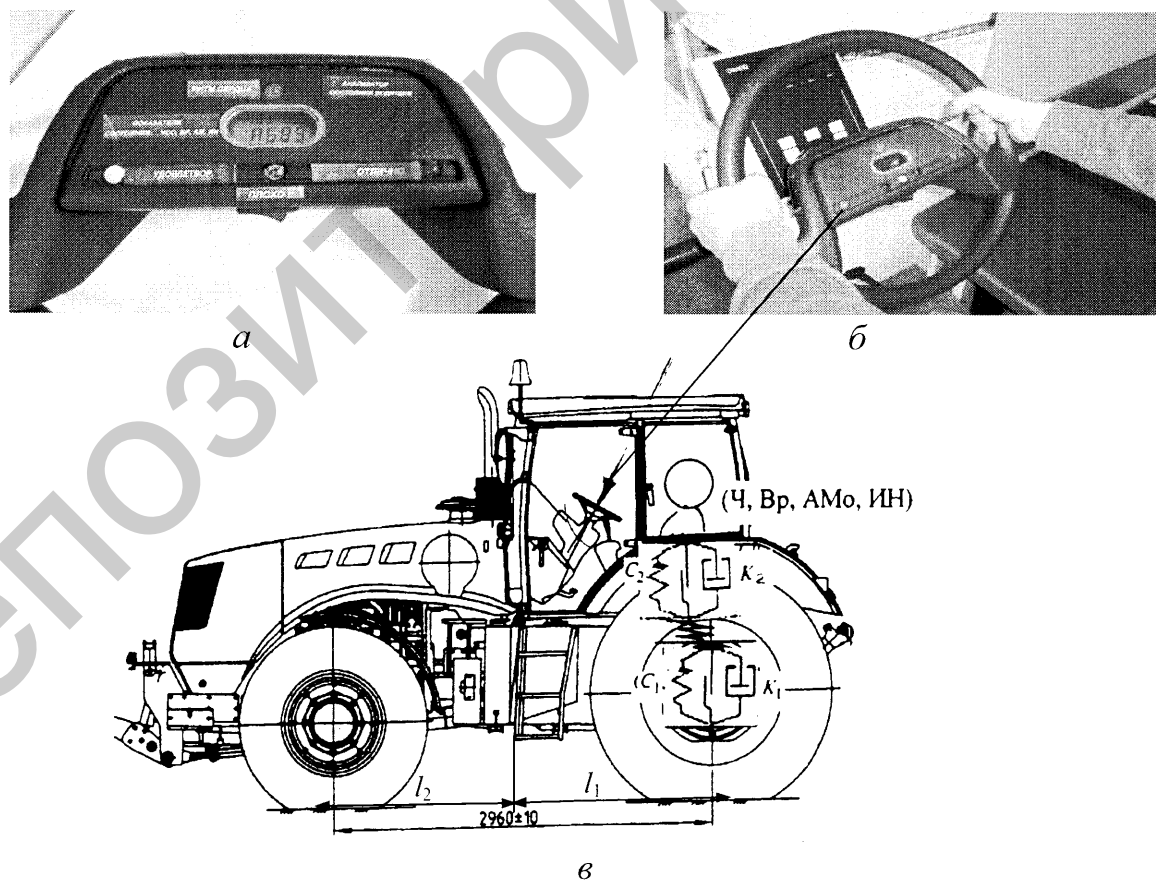
$q(t)$ – возмущения дороги; c_1, c_2 – жесткость упругих элементов; k_1, k_2 – коэффициенты демпфирования амортизатора; $z_1(t)$ – перемещения m_1 ; $z_2(t)$ – перемещения m_2 ;
 m_1, m_2 – массы сиденья и кабины

Рисунок 4 – Принципиальная схема управляемой колебательной системой

Имитационное моделирование (Simulation Modeling) осуществлялось с помощью программы MATLAB. Заданные начальные условия $q(t) = 10 \sin \omega t$, $u = 0-6$ кВ/мм. Величины c_1, k_1 – упругодиссипативные параметры подвески сиденья $80-6800010$ ($c = 3431,3$ Н/м, $0,32 \leq \eta \leq 0,6$).

Результаты моделирования подтверждают, что предложенная система способна эффективно снизить ускорения сиденья оператора (водителя) в диапазоне частот от 0,5 до 25 Гц, особенно вредных для здоровья, за счет управляемой полуактивной виброзащитной системы, гидростатическое давление которой, а следовательно, восстанавливающая сила относительного перемещения масс регулируется при помощи сигналов управления, источником которых является ИН оператора (водителя).

В четвертой главе разработана методика диагностики физиологического состояния оператора колесного трактора «Беларус» при выполнении алгоритмов управления, приведены измеряемые величины и измерительная аппаратура, используемые при исследовании физиологического состояния оператора (испытателя) в процессе управления трактором с учетом виброизоляции рабочего места, влияния на организм сложного комплекса условий: упругодемпфирующих свойств подвески, внешних условий, с учетом среднеквадратических ускорений на сиденье оператора при движении по грунтовой дороге и на пахоте соответственно $(0,5-0,7)g$ и $(0,7-1,3)g$. Для мониторинга физиологического состояния оператора (испытателя) в процессе выполнения алгоритмов управления создан макет рулевого колеса со встроенным экспресс-анализатором с системой показателей ЧСС, ВР, АМо, ИН (рисунок 5).



a – макетный образец; *б* – положение рук; *в* – базовое шасси диагностирование физиологического состояния оператора во время выполнения технологических операций

Рисунок 5 – Измерение функционального состояния оператора с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, встроенной в рулевое колесо

Экспериментальные исследования проводились на тракторах «Беларус-1221/2025А/3022ДВ» в Испытательном центре тракторной техники (ИЦ «Трактор») РУП МТЗ при выполнении технологических операций (рисунок 6).

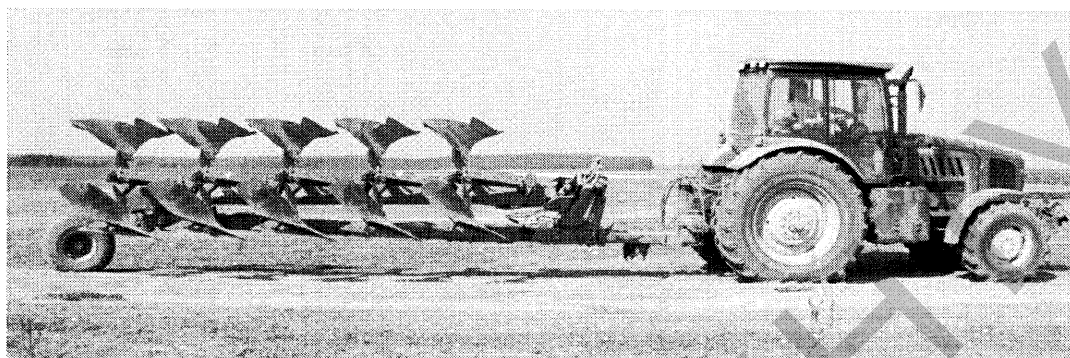


Рисунок 6 – Экспериментальные исследования вибронегруженности оператора при выполнении технологических операций на пахоте в испытательном центре ПО «МТЗ»

По результатам расчетно-теоретических и экспериментальных данных определена поглощаемая мощность системы «сиденье–водитель» для трактора «Беларус-3022ДВ» при $\omega = 1,5$ Гц, $\sigma_{\ddot{z}} = 1,5$ м/с², $\sigma_{\ddot{z}_c} = 1,2$ м/с²; $\sigma_{\ddot{x}_c} = 0,4$ м/с², которая составляет 1,092 Вт, из них продольные ускорения составили 38 %, а вертикальные – 59 % от поглощаемой мощности колебаний, что отражает сложность восприятия колебаний оператором (водителем).

Регистрация изменения характеристик функционального состояния оператора (водителя), их анализ и выдача предупреждающих сигналов по комплексу физиологических показателей с оценкой «хорошо», «удовлетворительно», «плохо» проводились с помощью экспресс-анализатора частоты пульса. Электроды регистрируют электрокардиограмму и анализируют динамику частоты сердечных сокращений и показатели variability ритма сердца [7, 22].

Диагностирование состояния операторов проводилось до начала работы, после четырех часов работы и в конце ее на тракторе «Беларус-3022 ДВ» на пахоте, тракторе «Беларус-1221» – на грунтовой дороге и тракторе «Беларус-2025А» – на почве. Каждый опыт (замер) проводился три раза. В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные по критерию Фишера статистические модели зависимости индекса напряжения оператора от внешних условий:

$$y_1 = 113,38 + 4,13x_1 + 6,13x_2 + 14,62x_3, \quad (8)$$

где y_1 – индекс напряжения системы регуляции оператора (водителя) при работе на пахоте; x_1 – вибрационная мощность, Вт; x_2 – среднеквадратическая величина вертикальных ускорений; x_3 – уровень звука внешнего шума, дБ;

$$y_2 = 5,96 + 1,48x_1 + 0,06x_2 + 10,02x_3, \quad (9)$$

где y_2 – индекс напряжения системы регуляции оператора (водителя) на грунтовой дороге. Зависимости (8) и (9) указывают на существенное влияние факторов x_1 и x_3 на напряжение системы регуляции испытателя при работе на тракторе «Беларус».

Получено 15 % показателей с оценкой «удовлетворительно», однако дискретные замеры не являются оптимальными. Предложенная автором система поддержки работоспособности оператора базируется на принципе управления подвеской на основе электрического сигнала регистрации изменения функционального состояния испытателя, суть которого заключена в воздействии электрических сигналов с оценкой «хорошо», «удовлетворительно», «плохо» (в последнем случае необходимо принять решение по дальнейшему управлению трактором, перейти на благоприятный режим функционирования (снижение скорости либо подключение элементов управления)) [7, 22].

Данная система позволяет своевременно обнаружить предварительные ситуации, связанные с физиологическим состоянием оператора, и, как следствие, наличие шумов, влияние вибронагруженности, обусловленной конструктивными решениями поддрессоривания системы (кабины, сиденья, двигателя). Диагностика совмещена с процессом управления колесной машиной и дополнительно не требует специальных тестов.

Использование средств мобильного мониторинга физиологического состояния оператора (водителя) позволит осуществить в полевых условиях оперативную оценку влияния внешней динамической нагруженности и предупредить аварийную ситуацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В результате теоретических и экспериментальных исследований вибронагруженности системы «оператор–сиденье» колесного трактора решена научно-практическая задача повышения активной виброзащиты оператора (водителя) при выполнении алгоритмов управления, основанная на принципе информирования оператора о его физиологическом состоянии с учетом виброзащитных свойств сиденья, системы управления, что в совокупности позволяет снизить вибронагруженность на оператора (в 5–7 раз) и обеспечить безопасность управления колесным трактором [2, 5, 7, 11, 12, 16, 20, 22].

1. На основе комплекса расчетных исследований взаимодействия системы «оператор–сиденье» колесного трактора с окружающей средой по относительному виброперемещению при различных видах возбуждения: гармонических, полигармонических, ударных и случайных, рекомендованы

диапазоны рациональных значений параметров подвески сиденья; проведена оценка вибронагруженности оператора на соответствие санитарным нормам в третьоктавных полосах частот [2, 6, 11, 12, 14, 15, 17].

2. Получены адекватные корреляционные зависимости формирования вибронагруженности [1, 3, 8, 13], позволяющие оценить влияние вибрационной мощности $W(\omega, \eta)$ на индекс напряжения (ИН) системы регуляции испытателя (оператора-водителя). Установлено, что влияние вибрационной мощности [2, 4] на напряжение системы регуляции испытателя при выполнении технологических операций на тракторах «Беларус –1221 / 2025А / 3022 ДВ» составляет 18–21 %, вертикальных ускорений – 20–26 %, внешнего шума – 41–53 % [2, 9, 10].

3. Разработан алгоритм управления подвеской сиденья оператора (водителя) как по уровню относительных виброперемещений, так и по физиологическому фактору (ИН) оператора (водителя). Показано, что применение управляемой подвески сиденья оператора дает возможность снизить уровень виброперемещений как на несущую конструкцию, так и на оператора, что в совокупности позволяет улучшить показатели среднеквадратических величин ускорений на 30–40 % по сравнению с существующей конструкцией [1, 5, 19].

4. Разработан макет рулевого колеса со встроенным экспресс-анализатором и способ диагностирования функционального состояния оператора (водителя), управляющего трактором, на основании мониторинга физиологических параметров: частоты сердечных сокращений (ЧСС), вариационного размаха (ВР), амплитуды моды (АМо), индекса напряжения (ИН), отличающиеся от существующих контролируемыми параметрами (ЧСС, ВР, АМо, ИН) [7, 8, 11, 18] и позволяющие обеспечить нормализацию функционального состояния оператора, управляющего колесным трактором, что дает возможность своевременно обнаружить нештатные ситуации, связанные с эксплуатацией колесного трактора. Новизна способа подтверждена патентом Республики Беларусь [22].

5. Разработано и предложено конструктивное решение упругого элемента подвески, отличающегося тем, что вместо системы рычагов и кронштейнов применен фигурный прут из пружинной стали, демпфирующий в вертикальной и горизонтальной плоскостях, позволяющего снизить поперечные и крутильные деформации в 1,5–2 раза. Новизна подтверждена патентом Республики Беларусь [21]. Ожидаемый экономический эффект 313 млн руб. на программу выпуска.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Использование компьютерной диагностики с функцией контроля физиологического состояния оператора (водителя) позволит минимизировать влияние человеческого фактора непосредственно во время выполнения технологических операций (Протокол компьютерной диагностики

функционального состояния водителя при работе на тракторах «Беларус –1221 / 2025А / 3022 ДВ»). Новизна исследований подтверждена патентами [21, 22].

Методы и методика диагностики апробированы в Испытательном центре тракторной техники РУП «МТЗ» на тракторах «Беларус –1221 / 2025А / 3022 ДВ» и приняты к использованию при разработке перспективных моделей. (Справка о практическом использовании результатов исследования № 915–201/43855 от 12.05.2013 г.), а также могут являться основой для дальнейших исследований с целью получения новых результатов по улучшению условий труда, производительности и качества выполняемых работ.

Методика, результаты исследований и макетный образец рулевого колеса трактора с необходимой контрольно-измерительной аппаратурой используются в учебном процессе БГАТУ (Акт о практическом использовании результатов исследования в учебном процессе № Уп-1 от 01.02.2012 г.).

Список публикаций соискателя по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь и Российской Федерации

1. Планирование эксперимента при исследовании вибронегруженности сиденья водителя / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик, А.И. Бобровник, С.А. Шаметко // Вестник машиностроения. – 2007. – № 7. – С. 87–88.

2. Микулик, Т.Н. Определение влияния параметров подвески сиденья водителя на вибрационную мощность / Т.Н. Микулик // Грузовик. – 2008. – № 4. – С. 33–34.

3. Рейзина, Г.Н. Компьютерная концепция активной безопасности испытателя (водителя) на транспорте / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик // Грузовик. – 2009. – № 3. – С. 45–46.

4. Диагностика функционального состояния испытателя (водителя) на транспорте / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик, А.И. Бобровник, А.Г. Стасилевич // Агропанорама. – 2010. – № 2. – С. 32–34.

5. Рейзина, Г.Н. Реализация алгоритма управления в системах поддресоривания транспортных средств / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик, Е.В. Коробко // Тепло- и массоперенос-2011 : сб. науч. тр. – Минск : ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2011. – С. 311–316.

6. Микулик, Т.Н. Анализ колебаний виброзащитной системы при гармонических и полигармонических возбуждениях / Т.Н. Микулик // Вестник БНТУ. – 2011. – № 6. – С. 66–68.

7. Микулик, Т.Н. К системе поддержки работоспособности оператора на тракторах марки «Беларус» / Т.Н. Микулик, Г.Н. Рейзина // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 53–55.

Материалы конференций

8. Микулик, Т.Н. Моделирование одной виброзащитной системы / Т.Н. Микулик, А.В. Бурдыко, С.С. Дашкевич // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы X Респ. науч. конф. студ. и аспирантов; Гомель, 12–14 марта 2007 г. – Гомель: УО «Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины», 2007. – С. 105–106.

9. Бобровник, А.И. Моделирование виброзащитной системы по мощности колебаний, действующих на человека / А.И. Бобровник, Т.Н. Микулик, Г.Н. Рейзина // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / БНТУ. – Минск: БНТУ, 2008. – Т. 2. – С. 364–367.

10. Микулик, Т.Н. Вибронагруженность кабины и сиденья водителя с системой вторичного подрессоривания / Т.Н. Микулик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. / БНТУ. – Минск : БНТУ, 2008. – Т. 2. – С. 223.

11. Микулик, Т.Н. Математическое моделирование управления виброзащитной системой / Т.Н. Микулик // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XI Респ. науч. конф. студ. и аспирантов; Гомель, 17–19 марта 2008 г.: в 2 ч. – Гомель: УО «Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины», 2008. – Ч. 1. – С. 92–93.

12. Диагностика активной безопасности испытателя (водителя) на тракторе / А.И. Бобровник, А.Г. Стасилевич, Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик // Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства. Проблемы и перспективы развития: докл. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф. В.А. Скотникова; Минск, 11–14 февр. 2009 г. / БГАТУ, редкол.: А.В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 334–337.

13. Козлов, А.В. Совершенствование виброзащитных систем на основе математического моделирования / А.В. Козлов, Т.Н. Микулик // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XII Респ. науч. конф. студ. и аспирантов; Гомель, 16–18 марта 2009 г.: в 2 ч. – Гомель: УО «Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины», 2009. – Ч. 1. – С. 95–96.

14. Петкевич, А.И. Реакция динамической системы на ударное воздействие / А.И. Петкевич, Т.Н. Микулик // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XII Респ. науч. конф. студ. и аспирантов; Гомель, 16–18 марта 2009 г.: в 2 ч. – Гомель: УО «Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины», 2009. – Ч. 1. – С. 122–123.

15. Радкевич, С.Г. О моделировании колебаний виброзащитной системы при гармонических и полигармонических возбуждениях / С.Г. Радкевич, Т.Н. Микулик // Новые математические методы и компьютерные технологии в

проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XII Респ. науч. конф. студ. и аспирантов; Гомель, 16–18 марта 2009 г. : в 2 ч. – Гомель : УО «Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины», 2009. – Ч. 1. – С. 130–131.

16. Рейзина, Г. Н. Спектральный анализ состояний динамических систем / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик // Актуальные проблемы анализа: материалы Междунар. матем. конф., Гродно, 7–10 апр. 2009 г. – Гродно, 2009. – С. 168–169.

17. Микулик, Т.Н. Применение программы MathCAD для выбора параметров демпфирующего устройства / Т.Н. Микулик, Г.Н. Рейзина // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. – Минск : БНТУ, 2009. – Т. 2. – С. 311.

18. Микулик, Т.Н. Физиологическое состояние оператора (водителя) на тракторе при взаимодействии с внешней средой / Т.Н. Микулик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / БНТУ. – Минск: БНТУ, 2010. – Т. 2. – С. 25.

19. Микулик, Т.Н. Управление колебаниями системы «водитель–подвеска–дорога» / Т.Н. Микулик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / БНТУ. – Минск: БНТУ, 2010. – Т. 3. – С. 301.

20. Микулик, Н.А. К определению параметров колебаний в динамических системах / Н.А. Микулик, Т.Н. Микулик // Автоматизация технологических процессов : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15-16 марта 2011 г. / БНТУ; редкол.: Г.Н. Здор (гл. ред.), А.Н. Дербан; Р.В. Новичихин. – Минск: Бизнесофсет, 2011. – С. 102.

Патенты

21. Подвеска сиденья транспортного средства: пат. 4219 Респ. Беларусь МПК В 60G 21/00 / Г.Н. Рейзина, Т.Н. Микулик; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № и 20070427; заявл. 12.06.2007; опубл. 28.02.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласнасці. – 2008. – № 1. – С. 189.

22. Способ диагностики функционального состояния водителя, управляющего автотранспортным средством, для предупреждения нештатных ситуаций: пат.15725 Респ. Беларусь, МПК А61 В5/02, В60К 28/02/ Г. Н. Рейзина, Т. Н. Микулик; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а 20091804; заявл. 17.12.2009; опубл. 30.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 57–58.

РЭЗІЮМЭ

Мікулік Таццяна Мікалаеўна

ПАВЫШЭННЕ АКТЫЎНАЙ ВІБРААХОВЫ СІСТЭМЫ «АПЕРАТАР–СЯДЗЕННЕ» КОЛАВАГА ТРАКТАРА З ВЫКАРЫСТАННЕМ ФУНКЦЫЯНАЛЬнай ДЫЯГНОСТЫКІ

Ключавыя словы: вібраахова, вібранагружанасць, матэматычная мадэль, ваганні ТС, кіруемая падвеска, функцыянальная дыягностыка, маніторынг, фізіялагічны стан аператара.

Мэта работы – павышэнне актыўнай вібрааховы сістэмы «аператар–сядзенне» колавага трактара з выкарыстаннем функцыянальнай дыягностыкі пры выкананні аператарам алгарытмаў кіравання на аснове новых метадаў дыягнасціравання, методык і алгарытмаў прыняцця рашэнняў пры выпрабаваннях, вырабу і эксплуатацыі трактараў, рэалізацыя якіх забяспечыць аператыўнае вызначэнне стану сістэмы і прадухіленне аварыйных сітуацый.

Аб’ект даследавання – сістэма «аператар–сядзенне» колавага трактара.
Прадмет даследавання – методыкі вызначэння вібраахоўных якасцей сістэмы «аператар–МТА» і стварэнне сродкаў вібрааховы аператара.

Метады даследавання – разлікова-тэарэтычныя метады на аснове законаў дынамікі машын, матэматычнае мадэліраванне, метады планавання эксперыменту. Выкарыстана спецыялізаваная кантрольна-вымяральная апаратура. Апрацоўка эксперыментальных даных выканана метадамі матэматычнай статыстыкі і лікавай апрацоўкі сігналаў.

Распрацавана методика аналізу вібранагружанасці па вібрацыйнай магутнасці $W(\omega, \eta)$ на аснове поўнага фактарнага эксперыменту, якая ўлічвае функцыянальны стан аператара па фізіялагічнаму фактару ІН пры эксплуатацыі МТА з улікам знешніх уздзеянняў у час руху, дазваляе рабіць ацэнку вібранагружанасці на сядзенні аператара па адноснаму вібраперамяшчэнню пры гарманічных, полігарманічных, ударных і выпадковых узбуджэннях.

Распрацаваны алгарытм кіравання падвескі сядзення з улікам фізіялагічнага фактару ІН аператара. Прапанавана інжынернае рашэнне па канструкцыі пругкага элемента сядзення, які дазваляе знізіць папярочныя і круцільныя ваганні ў 1,5–2 разы. Створаны макет рулявога кола з убудаваным экспрэс-аналізатарам частаты пульсу. Прапанован спосаб дыягностыкі фізіялагічнага стану аператара для папярэджання пазаштатных сітуацый.

Галіна выкарыстання: аўтамабіле- і трактарабудаванне, навучальны працэс.

РЕЗЮМЕ

Микулик Татьяна Николаевна

ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ «ОПЕРАТОР–СИДЕНЬЕ» КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ключевые слова: виброзащита, вибронегруженность, математическая модель, колебания ТС, управляемая подвеска, функциональная диагностика, мониторинг, физиологическое состояние оператора.

Цель работы – повышение активной виброзащиты системы «оператор–сиденье» колесного трактора с использованием функциональной диагностики при выполнении оператором алгоритмов управления на основе новых методов диагностирования, методик и алгоритмов принятия решений при испытаниях, изготовлении и эксплуатации тракторов, реализация которых обеспечит оперативное определение состояния системы и предотвращение аварийных ситуаций.

Объект исследования – система «оператор–сиденье» колесного трактора.

Предмет исследования – методики определения виброзащитных качеств системы «оператор–МТА» и создание средств виброзащиты оператора.

Методы исследования – расчетно-теоретические методы на основании законов динамики машин, математическое моделирование, методы планирования эксперимента. Использована специализированная контрольно-измерительная аппаратура. Обработка экспериментальных данных выполнена методами математической статистики и численной обработки сигналов.

Разработана методика анализа вибронегруженности по вибрационной мощности $W(\omega, \eta)$ на основе полного факторного эксперимента, учитывающая функциональное состояние оператора по физиологическому фактору ИН при эксплуатации МТА с учетом внешних воздействий во время движения, позволяющая производить оценку эффективности вибронегруженности на сиденье оператора по относительному виброперемещению при гармонических, полигармонических, ударных и случайных возбуждениях.

Разработан алгоритм управления подвеской сиденья оператора с учетом физиологического фактора ИН оператора. Предложено инженерное решение по конструкции упругого элемента сиденья, позволяющего снизить поперечные и крутильные колебания в 1,5–2 раза. Создан макет рулевого колеса со встроенным экспресс-анализатором частоты пульса. Предложен способ диагностики физиологического состояния оператора для предупреждения нештатных ситуаций.

Область применения: автомобиле- и тракторостроение, учебный процесс.

SUMMARY

Tatsiana N. Mikulik

RAISING OF ACTIVE VIBRATORY PROTECTION OF SYSTEM “OPERATOR–SEAT” OF WHEEL TRACTOR BY USING OF FUNCTIONAL DIAGNOSTICS

Key words: vibratory protection, vibratory loading, mathematical model, vibration of vehicle, controlling suspension, functional diagnostics, monitoring, physiological state of operator.

The aim of the research: raising of active vibratory protection of system “operator–seat” of wheel tractor by using functional diagnostics during fulfilling of operator the algorithms of control on the base of new methods of diagnostics methods and algorithms of taking the decisions during the testing, making and usade of tractors, which realization will ensure the operations determination of state of system and prevention of emergency situations.

Object of research: the system “operator– seat” of wheel tractor.

Subject of research: the procedures of determination of vibration protection qualities of system «operator–MTS» and the creation by means of vibratory protection.

Methods of research – rated and theoretical methods on the base of laws of the dynamics of vehicle, mathematical modeling, methods of planning of experiment. The specializing test equipment was used. The processing of experimental data was executed by the methods of mathematical statistics and numerical processing of signals.

Are developed: the methods of analysis of vibratory loading according to vibratory power $W(\omega, \eta)$ on the base of complete factor experiment, which take into account the functional state of operator according to physiological factor is in process according to the level of external actions and in time of movement, which allow to value the efficiency of vibratory loading on the seat of operator according to relative vibration displacement during the harmonic, polyharmonic, shock and accidental excitations.

The algorithm of control of suspension of operator’s seat according to physiological factor IS of operator.

The engineering decision of design of elastic element of seat was offered, which make it possible to reduce the lateral and torsional vibrations in 1,5–2 times. The model of steering-wheel with express-analyser of the pulse rate was created. The method of diagnostics of physiological state of operator in order to prevent non-staff situation was offered.

Field of application: automobile and tractor industry, educational process.