

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Н.А. Поздняков,

*зав. сектором модельно-ориентированного проектирования
ГНУ «Объединенный Институт машиностроения НАН Беларуси»*

С.В. Хитриков,

*зам. начальника отдела моделирования и виртуальных испытаний
ГНУ «Объединенный Институт машиностроения НАН Беларуси»*

Д.Г. Лопух,

зав. сектором виртуальных испытаний ГНУ «Объединенный Институт машиностроения НАН Беларуси»

А.И. Бобровник,

профессор каф. тракторов БНТУ, док. техн. наук, профессор

А.Д. Чечеткин,

доцент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. тех. наук, доцент

Т.А. Варфоломеева,

ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

Рассмотрены основные элементы предложенной методики комплексного анализа и компьютерного моделирования вибрационного воздействия на рабочем месте водителя автомобиля. Представлены результаты моделирования вибровоздействий на рабочем месте при движении автомобиля по различным типам дорог.

Ключевые слова: вибронагруженность, транспортное средство, компьютерное моделирование, рабочее место, дорога.

The main elements of the proposed methods of the complex analysis and computer simulation of vibration exposure at the driver's workplace used in the agricultural transport are considered in the article. The results of the vibration excitement simulation at the workplace when driving on different types of roads are presented.

Keywords: vibration-load, vehicle, computer simulations, workplace, road.

Введение

Особенности эксплуатации сельскохозяйственного транспорта предполагают движение автомобилей и транспортных агрегатов как по дорогам с усовершенствованными типами покрытия, так и вне дорожных условий в течение одного технологического цикла. Такие особенности определяют повышенное вибрационное воздействие на рабочем месте водителя, что приводит к его ускоренной утомляемости, возможности развития профессиональных заболеваний, потере производительности и сбоям в согласованности технологических операций.

Водитель транспортного средства испытывает вибрации на рабочем месте, качественные и количественные критерии и показатели неблагоприятного воздействия на которого установлены в ГОСТах, правилах, санитарных нормах и других нормативных документах. Так, в ГОСТ 31192.1-2004 [1] приведен

процесс оценки локальной вибрации, а в СанПиН № 115 [2] указаны допустимые значения виброускорения на сиденье оператора в октавных и третьоктавных полосах частот.

В настоящее время рядом исследователей [3] разработаны методики оценки вибрационного воздействия расчетными способами с использованием универсальных и узкоспециализированных программных средств, в том числе математические модели колебательного движения элементов колесной машины, базирующиеся на объектно-ориентированном подходе, и могут масштабироваться до объектов любой сложности. Использование таких программ носит больше вспомогательный характер в составе традиционных методик расчета форм и частот колебаний.

Рассматриваемая в данной статье методика основана на использовании комплексного моделирования объектов исследования и позволяет решать более широкие задачи с учетом характеристик жесткости отдельных

элементов конструкции (несущих систем, кронштейнов, рычагов и т.д.) с использованием детальной информации о массо-инерционных характеристиках динамической системы. Кроме того, данная методика базируется на использовании параметрических моделей и может быть настроена на решение, как задач оптимизации, так и при натурных испытаниях систем управления активными элементами поддрессирования.

Основная часть

С учетом изложенного выше, актуальной задачей является создание методики расчетных исследований на основе компьютерного моделирования, проводимых с целью оценки нормируемых показателей вибронегруженности и направленных на оптимизацию конструкции подвесок кабины и сиденья водителя с учетом их упруго-диссипативных свойств.

Принимая за основу сформулированные требования, на основе компьютерного моделирования процессов разработана методика расчетных исследований вибраций, которая позволяет оценивать показатели вибрационного воздействия на рабочем месте и решать оптимизационные задачи по снижению уровня вибрации и настройке регулируемых параметров подвесок в различных эксплуатационных условиях.

Данная методика включает следующие обязательные этапы моделирования и виртуальных испытаний (рис. 1).

На первом этапе должны быть обоснованы исходные данные системы поддрессирования и установлены параметры факторов, влияющих на показатели вибрационного воздействия на рабочем месте водителя на уровне достижений современных исследований. Такое обоснование должно включать описание

источников вибровоздействий при эксплуатации автомобиля, факторы, определяющие усиление и поглощение вибрации, анализ свойства материалов и их конструктивное взаимодействие, с точки зрения передачи вибраций.

Второй этап предполагает выполнение работ по созданию моделей конструктивных элементов автомобиля, участвующих в передаче и распространении вибронегрузок на рабочем месте водителя. К таким элементам относятся: рама, подвеска ходовой части автомобиля, двигатель, подвеска кабины, система поддрессирования кресла водителя и др. Разработка динамической модели выполняется с использованием ПО кинематического и динамического анализа, например, MSC.ADAMS.

Второй этап тесно взаимосвязан с первым и выполняется только после тщательной его проработки. В перечень работ по созданию моделей включены: разработка САД- и модальных моделей на основе конечно-элементных моделей узлов и деталей, участвующих в передаче вибраций, динамических моделей узлов, создающих вибрацию, а также модели эксплуатационных условий. Именно на этом этапе проявляется тесная связь поставленной в данной работе задачи с задачами компьютерного моделирования для оценки динамической нагруженности, прочности, долговечности и т.д. Эта связь проявляется в универсальности используемых моделей для оценки различных групп эксплуатационных свойств.

Третий этап включает компьютерное моделирование процессов распространения вибраций с использованием специализированных САЕ-пакетов. Здесь также добавляется модель эксплуатационных условий, например, микропрофиля дороги. Ординаты



Рисунок 1. Общая схема проведения исследований вибронегруженности

микропрофиля определяются автокорреляционной функций неровностей вида

$$R(\tau) = D(A_1 e^{-\alpha_1 \tau} + A_2 e^{-\alpha_2 \tau} \cos \beta \tau), \quad (1)$$

где D – дисперсия;

A_1 и A_2 – коэффициенты, характеризующие доли экспоненциальной и периодической составляющей;

α_1, α_2 и β – коэффициенты, характеризующие затухание и периодичность функции.

Для расчетов взяты коэффициенты [4] для асфальтобетонной дороги в изношенном состоянии $D=1,1$ см; $A_1=0,85$; $A_2=0,15$; $\alpha_1=0,2$; $\alpha_2=0,05$; $\beta=0,6$, а для грунтовой дороги $D=2,12$ см; $A_1=0$; $A_2=1$; $\alpha_1=0$; $\alpha_2=0,58$; $\beta=0,63$.

Рассматриваемый этап предназначен для получения информации об уровнях вибрации на рабочем месте. Полученные результаты используются для последующего анализа и оценки степени соответствия действующим нормативам.

Четвертый этап посвящен непосредственно анализу и обработке полученных данных, верификации результатов моделирования, сравнению их с действующими нормативами, обоснованию мероприятий и рекомендаций.

Использование описанной методики для исследований начинается с выбора точек анализа вибронагруженности, например, шарниров крепления кабины к раме автомобиля. В указанных точках исследуются возникающие нагрузки, которые оказывают

влияние на вибрационную характеристику автомобиля и кабины в частности.

Нагрузки на кронштейнах, полученные в ходе виртуальных испытаний, в дальнейшем передаются для анализа, например, в среду моделирования MATLAB/Simulink. Для этого была разработана модель колебательной системы (рис. 2) и соответствующая ей математическая модель поддресоривания сиденья водителя, реализованная в среде моделирования MATLAB/Simulink (рис. 3), в которой входным сигналом является перемещение пола кабины в точке установки сиденья водителя, полученным по результатам моделирования в MSC.ADAMS, а выходными – силы реакции и сопротивления пневморессоры и амортизатора соответственно.

Согласно [1] определяются величины скорректированных виброускорений, усредняются в октавных или третьоктавных полосах частот и сравниваются с нормативными показателями. Величина скорректированного виброускорения определяется следующей формулой:

$$\tilde{a} = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 K_i^2}, \quad (2)$$

где a_i – среднеквадратическое виброускорение в i -октавной или третьоктавной полосе частот;

K_i – весовой коэффициент, характеризующий чувствительность человека к вибрациям в i -й полосе частот, берется из таблицы [1];

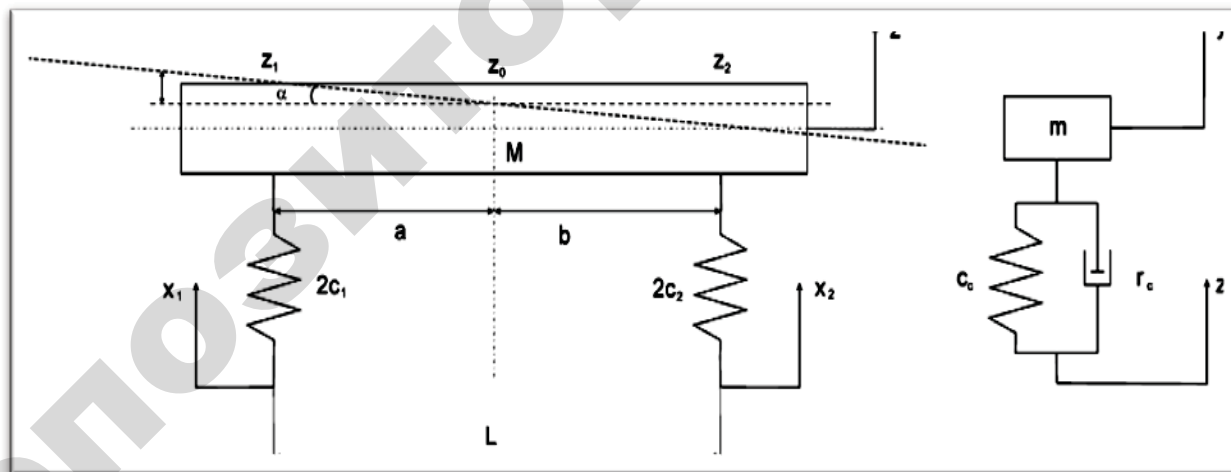


Рисунок 2. Схемы колебательных систем: а – эквивалентная колебательная система кабины; б – эквивалентная колебательная система сиденья; x_1, x_2 – функция микропрофиля дороги, соответственно для передних и задних колес автомобиля; L – расстояние между точками крепления передних и задних пневморессор; a, b – расстояние от точки крепления рессор до центра масс кабины; z – функция перемещения; z_1, z_2 – функции перемещения кабины в точках крепления пневморессор; z_0 – функция перемещения центра масс кабины; c_1, c_2 – жесткость пневморессор соответственно передней и задней, c_s, γ_s – соответственно коэффициенты жесткости и демпфирования систем поддресоривания сиденья водителя; m – масса сиденья с водителем (125 кг); y – функция перемещения сиденья водителя; M – масса кабины, кг

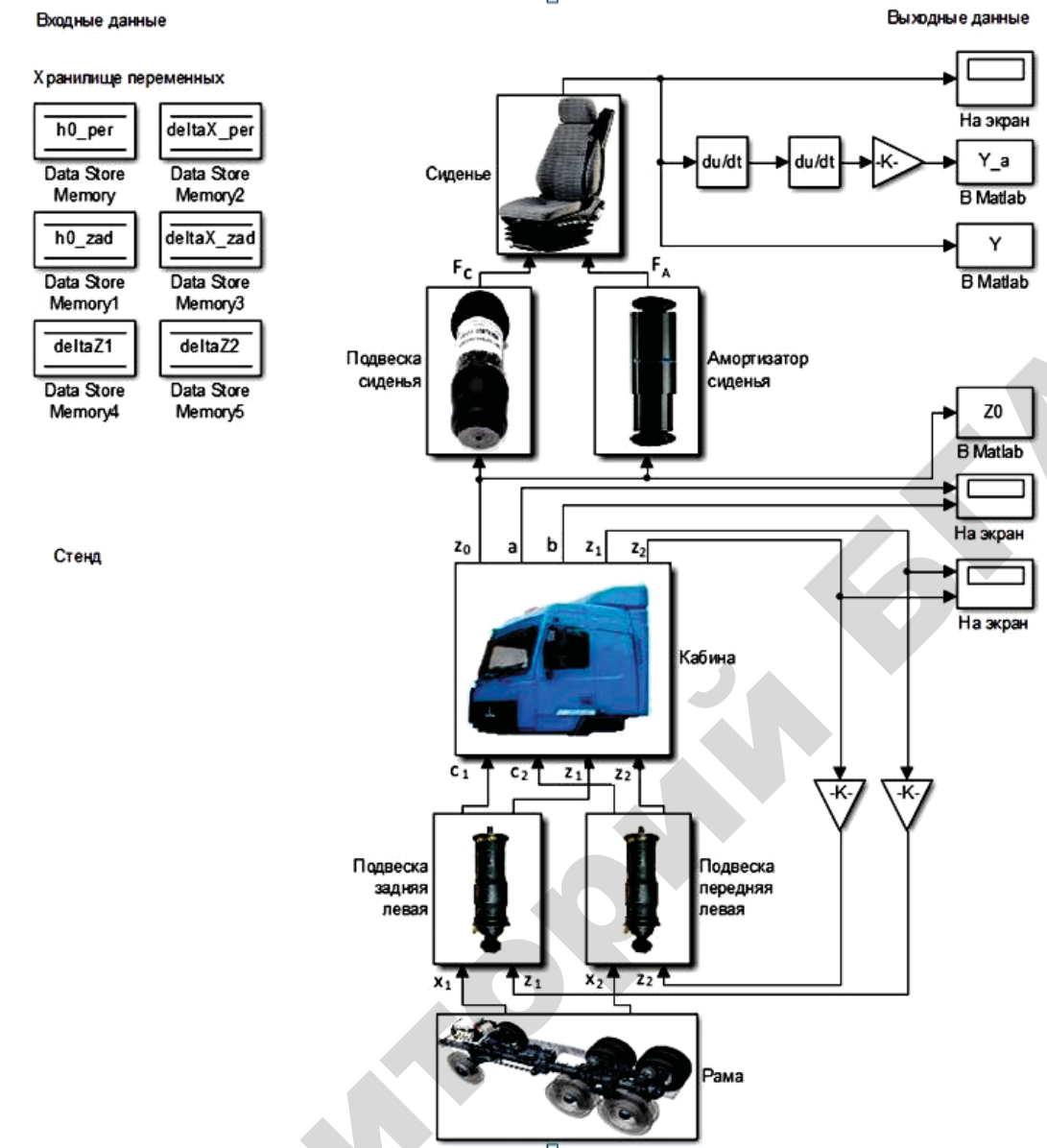


Рисунок 3. Схема модели систем поддресоривания кабины и сиденья водителя

n – число обобщаемых октавных или третьоктавных полос частот.

Для дальнейшего моделирования и оценки плавности хода, входной последовательностью будет сигнал виброускорений, полученный по результатам расчета из зависимости (1) или от датчика ускорений, расположенного под кабиной автомобиля, записанный при проведении натурных испытаний по различным типам дорожного покрытия. Характеристики данных сигналов приведены в табл. 1.

Все тестовые сигналы были обработаны с использованием фильтров с полосой пропускания 0,63-100 Гц. В результате были получены временные и амплитудно-

частотные характеристики тестовых сигналов.

Результат моделирования представляет собой ан-

Таблица 1. Характеристики тестовых сигналов

Параметр	Асфальтированная дорога			Грунтовая дорога		
	30 км/ч	50 км/ч	70 км/ч	30 км/ч	40 км/ч	60 км/ч
Период сигнала, с	200	129	163	134	98	80
Число ординат	80 000	51 600	65 200	53 600	39 200	32 000
Пройденный путь, м	1666	1792	3169	1120	1089	1333
Шаг по времени, с	0,0025					
Шаг по частоте, Гц	0,005	0,0078	0,006	0,0075	0,01	0,0125

Таблица 2. Результаты анализа моделирования на вибрационную безопасность

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения виброускорения вдоль оси Z, м/с ²		Асфальт						Грунт					
			30 км/ч		50 км/ч		70 км/ч		30 км/ч		40 км/ч		60 км/ч	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1
0,8	0,71		0,0016		0,0004		0,0020		0,0012		0,0016		0,0012	
1,0	0,63	1,12	0,0018	0,0244	0,0013	0,0082	0,0024	0,0319	0,0007	0,0098	0,0006	0,0051	0,0047	0,0545
1,25	0,56		0,0272		0,0091		0,0355		0,0109		0,0053		0,0608	
1,6	0,5		0,0024		0,0006		0,0041		0,0013		0,0012		0,0053	
2,0	0,45	0,8	0,0076	0,0394	0,0024	0,0124	0,0092	0,0536	0,0049	0,0145	0,0053	0,0072	0,0085	0,0989
2,5	0,4		0,0435		0,0137		0,0592		0,0152		0,0053		0,1108	
3,15	0,355		0,0021		0,0017		0,0047		0,0030		0,0019		0,0098	
4	0,315	0,56	0,0111	0,0381	0,0037	0,0133	0,0139	0,0495	0,0088	0,0157	0,0074	0,0082	0,0137	0,0808
5,0	0,315		0,0364		0,0126		0,0472		0,0126		0,0027		0,0791	
6,3	0,315		0,0149		0,0055		0,0446		0,0103		0,0067		0,0277	
8,0	0,315	0,56	0,0346	0,0529	0,0110	0,0177	0,0265	0,0712	0,0129	0,0225	0,0072	0,0123	0,0819	0,1183
10,0	0,40		0,02		0,0101		0,0376		0,0115		0,0059		0,0643	
12,5	0,50		0,0296		0,0082		0,0362		0,0105		0,0051		0,0536	
16,0	0,63	1,12	0,0269	0,04	0,0082	0,0134	0,0302	0,0530	0,0089	0,0158	0,0050	0,0084	0,0562	0,0904
20,0	0,8		0,0229		0,0066		0,0262		0,0081		0,0042		0,0452	
25,0	1,0		0,0199		0,0057		0,0236		0,0070		0,0036		0,0371	
31,5	1,25	2,24	0,0178	0,0271	0,0052	0,0090	0,0205	0,0358	0,0062	0,0108	0,0033	0,0056	0,0356	0,0603
40,0	1,60		0,0157		0,0047		0,0186		0,0057		0,0029		0,0318	
50,0	2,0		0,0141		0,0040		0,0159		0,0047		0,0025		0,0267	
63,0	2,50	4,5	0,0118	0,0003	0,0034	0,00003	0,0136	0,0006	0,0041	0,0000	0,0022	0,0000	0,0231	0,0016
80,0	3,15		0,0104		0,0000		0,0002		0,0000		0,0000		0,0004	

самбл функций виброускорений сиденья водителя при движении автомобиля по различным типам дорог. Значение виброускорений усредняется по всем полосам частот, октавным и третьоктавным, и умножается на весовой коэффициент. Результаты расчетных исследований для экспериментальной подвески кабины автомобиля МАЗ-6501 представлены в табл. 2.

Рассмотренные в данной работе методы и инструменты исследования вибронегруженности позволяют создавать параметрические модели систем поддрессирования кабины и сиденья водителя, в которой в качестве переменных параметров могут быть использованы, например, упруго-демпфирующие свойства элементов конструкции или регулировочные параметры подвески. Использование параметрических моделей при проектировании кабин позволяет эффективно применять инструменты оптимизации систем поддрессирования, где в качестве целевой функции можно принимать нормируемые показатели вибровоздействия на рабочем месте водителя.

Выводы

Для проведения расчетных исследований предложена методика компьютерного моделирования вибронегруженности с использованием динамических моделей, реализованных в современных пакетах компьютерного инженерного анализа. Расчетная методика основана на использовании математической модели, учитывающей наиболее существенные факторы, определяющие вибровоздействие на рабочем месте водителя.

Результаты моделирования и расчетных исследований могут быть использованы для определения скорректированных виброускорений, усредненных в октавных или третьоктавных полосах частот и сравнения с нормативными показателями.

Разработанные компьютерные модели могут быть использованы для выполнения задач оптимизации конструктивных параметров автомобиля по критериям вибронегруженности рабочего места, а также при настройке систем автоматического регулирования активных элементов подвески автомобиля, кабины и сиденья водителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека: ч. 1. Общие требования: ГОСТ 31192.1-2004. – Введ. 04.02.2004. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М., 2008 – 28 с.
2. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы от 16.11.2011 № 115. – Введ. 01.01.2012. – Постановление Министерства здравоохранения республики Беларусь от 16 ноября 2011 г. № 115. – 12 с.
3. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей конструкций автомобилей: монография / А. С. Горобцов, С.К. Карцов, А.Е. Плетнев, Ю.А. Поляков. – М.: Машиностроение, 2011. – 463 с.
4. Бровцин, В.Н. Моделирование микропрофилей поверхностей полей и дорог: сб. науч. тр. / В.Н. Бровцин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.01.2016