

УДК 629.4.023.11 + 625.111

Т.В. Донцова, С.В. Доронин, Б.Л. Герике

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ И РАМ ВАГОНОВ

Наличие достоверной информации о комплексе эксплуатационных нагрузок является предпосылкой для выполнения проектных расчетов, обеспечивающих безотказную и безаварийную работу технических объектов.

В общем случае несущие конструкции вагонов испытывают эксплуатационные нагрузки вследствие собственного веса вагона и веса перевозимого груза, взаимодействия между вагонами при движении поезда или маневровой работе, ускорения и торможения поезда, колебаний из-за неровностей

верхнего строения рельсового пути, давления ветра, прохождения вагоном криволинейных участков пути, погрузки и разгрузки вагонов, ремонтных работ, действия механизмов, обеспечивающих разгрузку вагона.

Перечисленные нагрузки характеризуются различной степенью определенности на этапе выполнения проектных расчетов. Наиболее неопределенными можно считать нагрузки, возникающие вследствие колебаний вагона при его движении по рельсовой колеи с фактическими (случай-

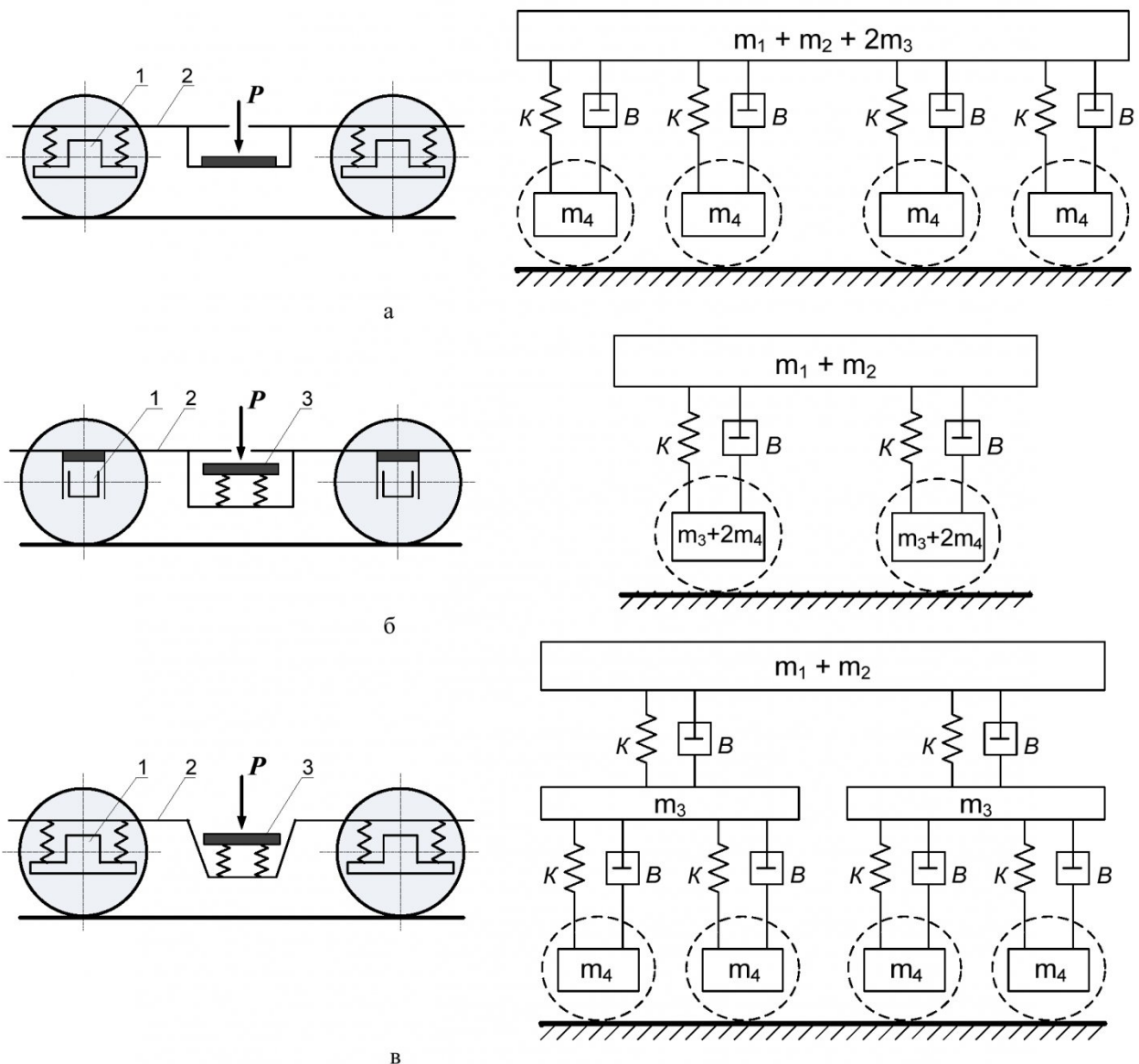


Рис. 1. Схемы рессорного подвешивания вагонов и их динамические модели: а – буксовое; б – центральное; в – двойное; 1 – букса; 2 – рама; 3 – надрессорная балка;  $m_1$  – рама вагона;  $m_2$  – надрессорная балка;  $m_3$  – боковая рама;  $m_4$  – колесо;  $K$  – упругий элемент;  $B$  – демпфирующий элемент

ными) отклонениями параметров последней от номинальных значений. Снижение уровня неопределенности таких нагрузок является важным фактором повышения технического уровня проектируемых вагонов. В связи с этим целью исследования является разработка методического подхода к оценке вклада в общий уровень нагруженности несущей конструкции вагона при его движении нагрузок, вызванных колебаниями вагона, обусловленными его динамическими характеристиками и фактическими несовершенствами геометрии рельсовой колеи.

Динамические характеристики вагонов учитываются детерминированными моделями, представляющими собой системы абсолютно твердых тел, соединенных между собой и с рельсовой колеей структурными связями, учитывающими жесткость, упругость, демпфирующие свойства реальных элементов механической системы [1]. Такие динамические модели (рис. 1) разработаны для основных схем рессорного подвешивания вагонов (буксового, центрального и двойного [2]). Практические затруднения при использовании этих моделей заключаются в том, что принципиальные схемы рессорного подвешивания (и соответствующие им динамические модели) допускают различные варианты конструктивной реализации, приводящие к различным значениям количественных параметров динамических моделей. В совокупности со случайным характером геометрии рельсовой колеи это приводит к значительному уровню неопределенности в обосновании характера нагруженности несущих рам вагонов.

С учетом указанных ограничений аналитических методов реализован методический подход, основанный на разработке и практическом использовании нечеткой модели силового взаимодействия рельсовой колеи, имеющей геометрические несовершенства, и несущих конструкций вагонов. Использование математического аппарата нечетких множеств обусловлено недостаточной информационной обеспеченностью задачи моделирования распространения силового потока в системе «рельсовая колея – колесные пары – тележки – рама вагона».

Решение этой комплексной задачи целесообразно осуществлять поэтапно, разделив нечеткую и детерминированную части общего алгоритма моделирования. Нечеткая модель используется для оценки дополнительных нагрузок в подсистеме «рельсовая колея – колесная пара» в связи со случайным характером геометрии рельсовой колеи, а детерминированный алгоритм позволяет установить особенности передачи этих нагрузок в подсистеме «колесные пары – тележки – рама вагона».

Геометрические несовершенства рельсовой колеи описываются в каждом ее поперечном сече-

нии заданием значений следующих параметров: шаблон (горизонтальное расстояние между головками рельс), рихтовка (горизонтальное отклонение головки каждого рельса от ее номинального положения), просадка (вертикальное отклонение головки каждого рельса от ее номинального положения), уровень (разница вертикальных координат головок двух рельсов в одном сечении колеи).

Эти значения регламентируются нормативными документами Министерства путей сообщения (МПС РФ) (Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности поездов (утв. МПС РФ 14.10.1997 № ЦП-515), Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (утв. МПС РФ 01.07.2000 № ЦП-774) и др.), в которых устанавливается система градаций отклонений указанных параметров от номинала. Рассматривается девять диапазонов (за исключением уровня, для которого, как для подчиненного по отношению к просадке параметра, рассматривается пять диапазонов) значений этих отклонений (табл. 1), каждому из которых ставится в соответствие определенное количество условных единиц («баллов»). Это позволяет разнородные по физическому смыслу несовершенства рельсовой колеи выразить в рамках единой балльной системы, и по накопленному на определенном участке рельсового пути количеству баллов судить об общем уровне несовершенства колеи и необходимости ограничения движения по соответствующему участку пути. Построенная таким образом балльная система принятия решений по обеспечению безопасности движения поездов фактически основана на экспертных оценках, но потенциал их использования ограничен решением частной задачи установления уровня и характера безопасных отклонений параметров рельсовой колеи от номинальных значений.

Расширенная постановка задачи позволяет ввести в рассмотрение реактивные силовые воздействия на вагон как механическую систему со стороны рельсовой колеи следующим образом. Принимаются очевидные допущения, что отклонения от номинальных значений шаблона и рихтовки приводят к возникновению дополнительных горизонтальных, а просадки и уровня – дополнительных вертикальных нагрузок в подсистеме «рельсовая колея – колесная пара». Вводятся входные и выходная лингвистические переменные (табл. 2), при этом значения входных лингвистических переменных принимаются соответствующими номерам диапазонов отклонений в табл. 1 со смещением границ диапазонов, что является выражением их нечеткости.

Таким образом, для входных лингвистических переменных «Степень отклонения шаблона», «Степень отклонения просадки», «Степень отклонения рихтовки» определены девять, для входной лингвистической переменной «Степень отклонения уровня» – пять, а для выходной лингвистической переменной «Дополнительная нагрузка» – четыре термы с кусочно-линейными функциями принадлежности.

На базе этих лингвистических переменных определены правила нечеткого вывода вида **ЕСЛИ** «Степень отступления...» = «Значение», **ТО** «Дополнительная нагрузка» = «Значение»,

где условные их значения в долях единицы (табл. 3).

Суммирование этих условных значений позволяет получить оценки общего относительного уровня  $Q_z(t)$  дополнительной нагруженности колесных пар в любой момент времени  $t$  при движении по рельсовой колее с фактическими геометрическими несовершенствами:

$$Q_z(t) = Q_1(s,t) + Q_2(r_r,r_l,t) + Q_3(u,t) + Q_4(p_r,p_l,t),$$

где  $Q_1(s,t)$ ,  $Q_2(r_r,r_l,t)$ ,  $Q_3(u,t)$ ,  $Q_4(p_r,p_l,t)$  – соответственно уровни дополнительной нагруженности, вызванные отклонениями от номинальных значений шаблона  $s$ , правой  $r_r$  и левой  $r_l$  рихтовок,

Таблица 1 – Диапазоны отклонений геометрических параметров рельсовой колеи

Параметр	Диапазоны отклонений от номинала, мм								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Шаблон	<-8	[-8;-7[	[-7;-6[	[-6;-4[	[-4;6]	]6;11]	]11;16]	]16;26]	>26
Просадка	<-25	[-25;-20[	[-20;-15[	[-15;-10[	[-10;10]	]10;15]	]15;20]	]20;25]	>25
Рихтовка	<-35	[-35;-25[	[-25;-18[	[-18;-10[	[-10;10]	]10;18]	]18;25]	]25;35]	>35
Уровень					<10	]10;15]	]15;20]	]20;25]	>25

например, **ЕСЛИ** «Степень отступления рихтовки» = «8», **ТО** «Дополнительная нагрузка» = «Умеренная».

уровня  $u$ , правой  $p_r$  и левой  $p_l$  просадок.

Функции  $Q_i(*)$  являются ключевым звеном, обеспечивающим взаимодействие нечеткой и де-

Таблица 2. Значения лингвистических переменных

Лингвистические переменные	Значения
Входные	
Степень отклонения шаблона	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
Степень отклонения просадки	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
Степень отклонения рихтовки	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
Степень отклонения уровня	5; 6; 7; 8; 9
Выходная	
Дополнительная нагрузка	Отсутствует или пренебрежимо мала; Незначительная; Умеренная; Большая

Поскольку подсистема «рельсовая колея – колесная пара» является линейной (деформируется в пределах упругости материала), к ней применим принцип суперпозиции (принцип независимости действия и сложения сил), согласно которому в данном случае общие реактивные воздействия рельсовой колеи на каждую колесную пару равны сумме воздействий, обусловленных отклонениями от номинала шаблона, просадки, рихтовки, уровня, и не зависят от порядка их приложения. Для количественного выражения этой суммы значениям лингвистической переменной «Дополнительная нагрузка» дополнительно поставлены в соответ-

ствующей части алгоритма. Они определяются путем дефазификации результатов применения сформулированной системы правил нечеткого вывода и могут быть записаны как в виде системы уравнений, так и представлены графическими зависимостями.

Эти функции являются отражением экспертных знаний о дополнительных нагрузках, вызываемых отклонениями параметров рельсовой колеи от номинальных значений (рис. 2). В конечном итоге функции  $Q_i(*)$  усредняются по результатам получения знаний группы экспертов.

Таким образом, применение экспертных оце-

Таблица 3. Соответствие значений лингвистической переменной и количественных значений

Значение лингвистической переменной «Дополнительная нагрузка»	Диапазон условных количественных значений
Отсутствует или пренебрежимо мала	0,0-0,25
Незначительная	0,25-0,5
Умеренная	0,5-0,75
Большая	0,75-1,0

нок обеспечивает снижение уровня неопределенности условий нагружения, формирующихся при взаимодействии колесных пар вагонов и рельсовой колеи, и оказывающихся общими для вагонов с любой схемой рессорного подвешивания.

Исследование динамических моделей, пред-

ставленных на рис. 1, позволяет получить передаточные функции для нагрузок, воздействующих непосредственно на рамы вагонов, и обеспечить получение достоверной информации об эксплуатационных нагрузках, обусловленных колебанием вагонов при их движении.

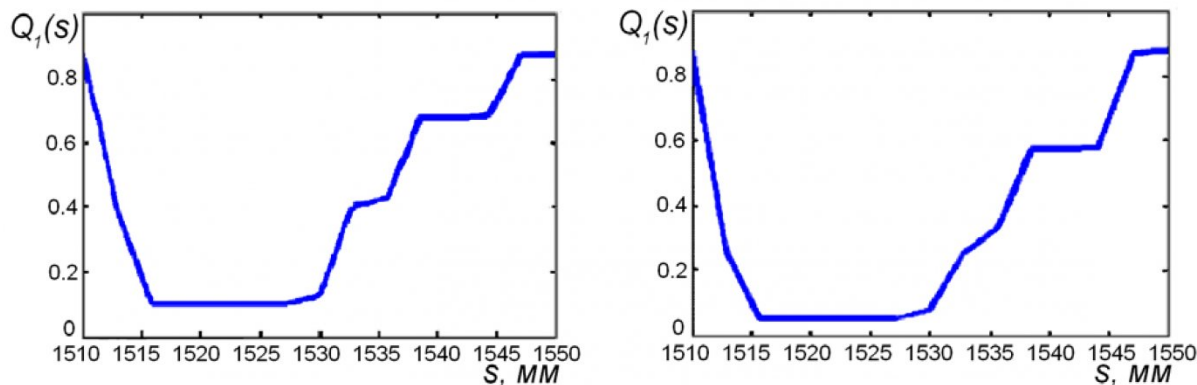


Рис. 2. Функции  $Q_1(s)$ , отражающие знания двух различных экспертов

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.  
 2 Быков Б.В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов. – М.: Маршрут, 2004. – 36 с.

□ Авторы статьи:

Донцова  
 Татьяна Валентиновна,  
 канд. техн. наук, доц. каф. автоматизации производственных процессов в металлургии Института цветных металлов и материаловедения (Сибирский федеральный университет).  
 e mail: 707atv@mail.ru

Доронин  
 Сергей Владимирович,  
 канд. техн. наук, доц., зав. отделом живучести конструкций технических систем (Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН).  
 e mail: s.doronin@gmail.com

Герике  
 Борис Львович,  
 докт. техн. наук, проф. каф. горных машин и комплексов КузГТУ  
 e mail: gbl\_42@mail.ru

УДК 629.4.023.11 + 625.111

С.В. Доронин, Т.В. Донцова, Б.Л. Герике

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ НА РАМЫ ВАГОНОВ

Высокие характеристики прочности, надежности, ресурса вагонов различного предназначения, габаритов, грузоподъемности, являющихся массовой продукцией транспортного машиностроения, относятся к важным факторам как обеспечения безопасности движения, так и повышения технико-экономических показателей предприятий, пользующихся услугами железнодорожного транспорта.

Визуальный и инструментальный контроль технического состояния думпкаров, как одного из

наиболее распространенных типов грузовых вагонов, позволил установить, что рамы значительной части парка подвижного состава содержат трещиноподобные дефекты или следы их устранения с последующим усилением ремонтными заплатами (рис. 1). Это свидетельствует о нерешенности проблемы прочности несущих конструкций вагонов и актуальности исследований, направленных на установление и устранение причин трещинообразования и снижения надежности и безопасности подвижного состава.