

УДК 621.752

А. А. Зарифьян, Д. В. Ольховатов

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПОДПРЫГИВАНИЯ ЭКИПАЖА С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ РЕССОРНЫМ ПОДВЕШИВАНИЕМ В SIMINTECH¹

Аннотация: В статье рассматривается моделирование железнодорожного экипажа с двухступенчатым рессорным подвешиванием. Описывается структура компьютерной модели в среде программного комплекса *SimInTech*, проводится численный эксперимент и анализ зависимости коэффициента вертикальной динамики от параметров демпфирования.

Ключевые слова: моделирование, *SimInTech*, экипаж, двухступенчатым подвешиванием, колебания подпрыгивания.

Для цитирования: Зарифьян, А. А. Моделирование колебаний подпрыгивания экипажа с двухступенчатым рессорным подвешиванием в *SimInTech* / А. А. Зарифьян, Д. В. Ольховатов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 15–20.

Колебания экипажной части локомотивов и вагонов, возникающие при движении по рельсовому пути с неровностями, приводят к возникновению дополнительных динамических нагрузок в узлах конструкций, ухудшают уровень комфорта пассажиров и ведут к целому ряду других нежелательных явлений. Поэтому изучение методов компьютерного моделирования колебаний механической части подвижного состава представляет собой неотъемлемый элемент в подготовке будущих инженеров-транспортников.

Механическая система, представляющая собой двухмассовую модель экипажной части железнодорожного подвижного состава представлена на рис. 1. Вывод дифференциальных уравнений движения механической системы в форме уравнений Лагранжа 2-го рода подробно описан в [1].

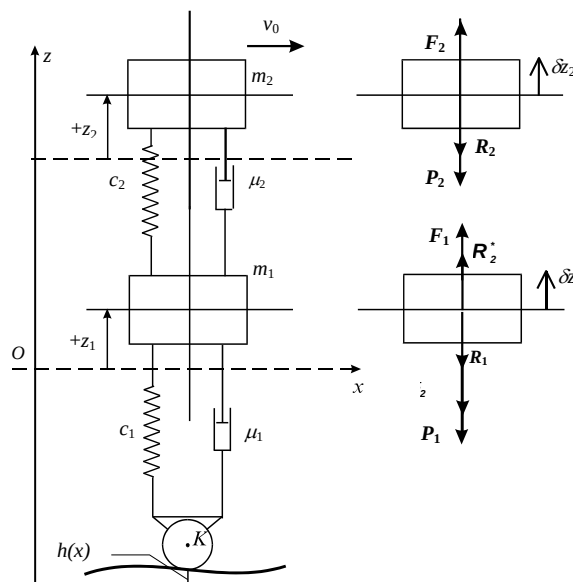


Рис. 1. Двухмассовая модель колебаний подпрыгивания и схема действия сил экипажной части железнодорожного подвижного состава

¹Статья рекомендована к публикации оргкомитетом по результатам 15-й юбилейной Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава».

Уравнения Лагранжа 2-го рода для рассматриваемой системы имеют вид:

$$m_1 \ddot{z}_1 = -(c_1 + c_2)z_1 - (\mu_1 + \mu_2)\dot{z}_1 + c_2 z_2 + \mu_2 \dot{z}_2 + c_1 h(x) + \mu_1 \frac{dh(x)}{dx} v_0, \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 = -c_2(z_2 - z_1) - \mu_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1). \quad (2)$$

Для проведения численных экспериментов на основе уравнений (1) и (2) была собрана модель экипажа с двухступенчатым рессорным подвешиванием в среде динамического моделирования *SimInTech* [2, 3] (Рис. 2).

В качестве возбуждающего воздействия для наглядного рассмотрения поведения механической системы была принята неровность пути $h(x)$, входящая в (1), которая представлена в виде гармонической функции:

$$h(x) = h_0 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L_p} \right), \quad (3)$$

где $x = v_0 t$ – закон движения вдоль оси O_x ;

$h_0 = 0,01$ м – амплитуда неровности;

$L_p = 25$ м – длина рельса.

Субструктура, формирующая сигнал $h(x)$ представлена на рисунке 3.

Одним из способов полезного применения данной модели является расчет коэффициента вертикальной динамики (КВД), а как следствие возможность выбора рессорного подвешивания с оптимальными значениями коэффициентов демпфирования.

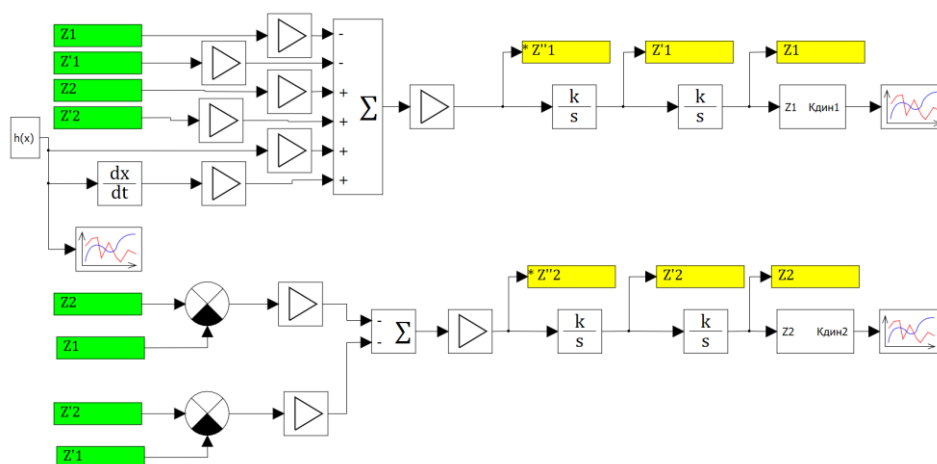


Рис. 2. Модель экипажа с двухступенчатым рессорным подвешиванием

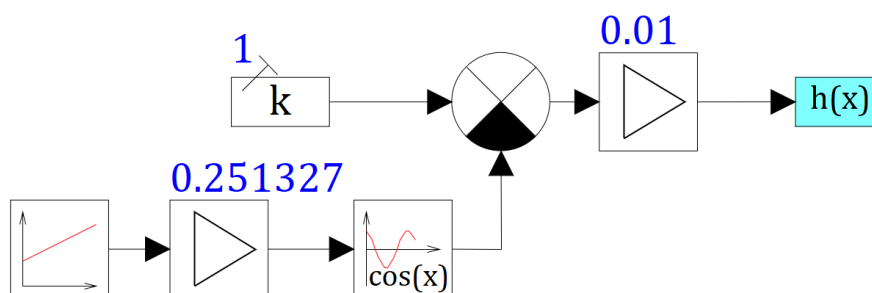


Рис. 3. Субструктура, формирующая сигнал неровности пути

Сигнал неровности пути эквивалентный движению подвижного состава со скоростью 50 км/ч изображен на рисунке 4.

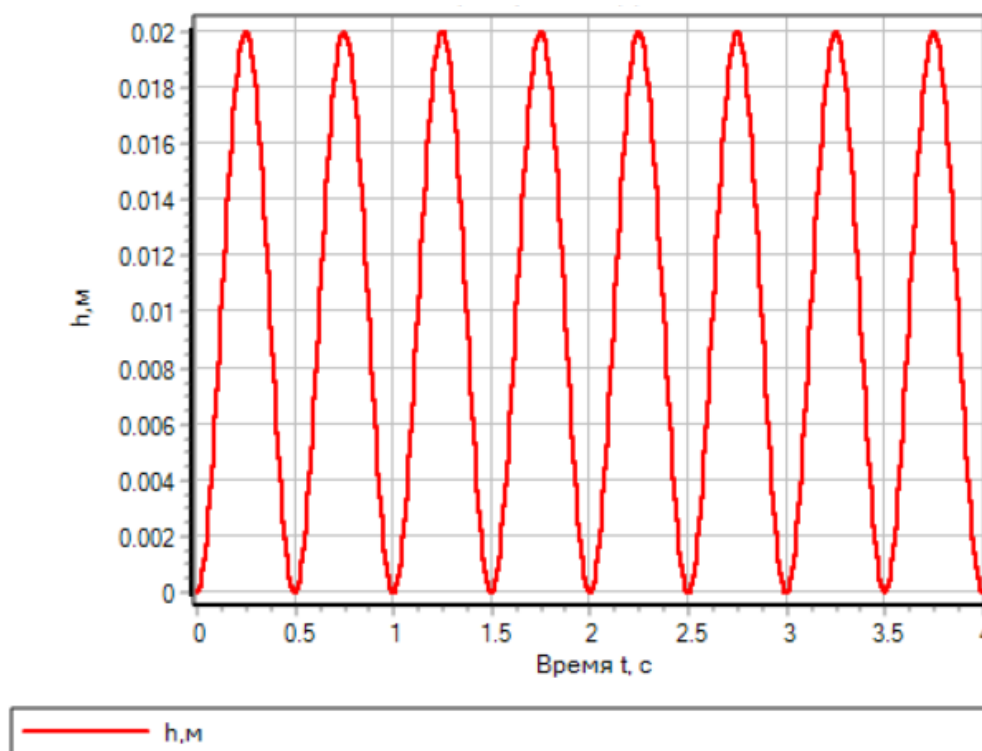


Рис. 4. Сигнал неровности пути на скорости 50 км/ч

На рисунке 5 представлена субструктура для расчета значения коэффициента вертикальной динамики. Процесс расчета КВД условно можно разделить на два этапа: 1) определение амплитуды колебаний рамы тележки (Z_1) и кузова (Z_2) в установившемся режиме; 2) определение отношения амплитуды колебаний (Z_1) и (Z_2) в установившемся режиме к амплитуде колебаний неровности H :

$$K_{\text{дин1}} = \frac{Z_1}{H}; \quad K_{\text{дин2}} = \frac{Z_2}{H}. \quad (4)$$

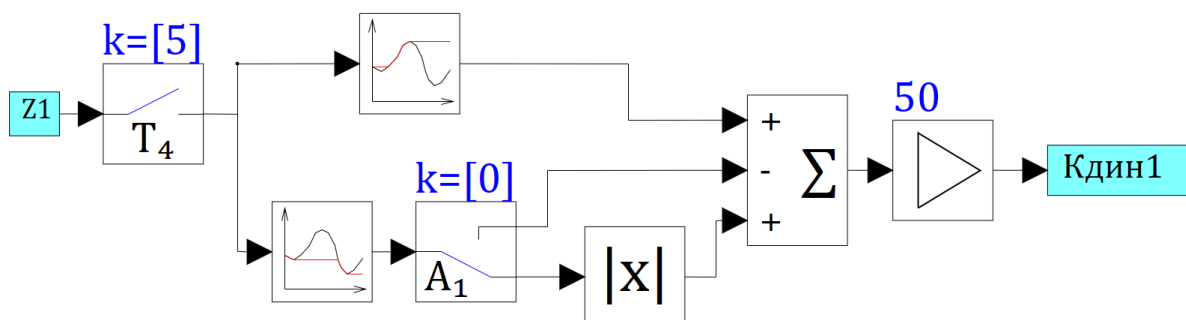


Рис. 5. Субструктура для расчета значения коэффициента динамики

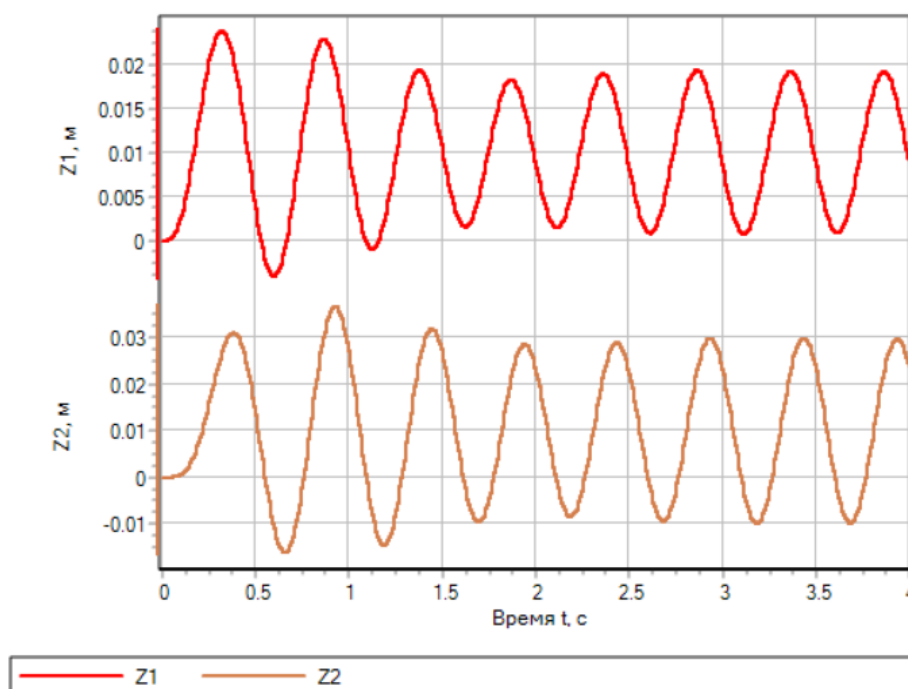
В качестве параметров модели были введены характеристики механической части электровоза ВЛ85, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики кузова и тележки электровоза ВЛ85

Тип	Масса тележки m_1 , кг	Масса кузова m_2 , кг	Жесткость подвешивания буксовой ступени c_1 , Н/м	Жесткость подвешивания кузовной ступени c_2 , Н/м	Параметр демпфирования буксовой ступени μ_1 , Н/(м/с)	Параметр демпфирования кузовной ступени μ_2 , Н/(м/с)
ВЛ85	$21,9 \cdot 10^3$	$26,6 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^6$	$4,72 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^4$	$19 \cdot 10^4$

В результате моделирования были получены графики перемещения вдоль вертикальной оси рамы тележки z_1 и кузова z_2 при колебаниях эквивалентный движению подвижного состава со скоростью 50 км/ч (рис. 6).

Рис. 6. Графики z_1 и z_2 при скорости движения 50 км/ч

Графики зависимости коэффициентов вертикальной динамики рамы тележки $K_{дин1}$ и кузова $K_{дин2}$ от скорости движения подвижного состава представлены на рисунках 7 и 8. Данные зависимости рассчитывались для трех вариантов демпфирования буксовой μ_1 и кузовной μ_2 ступеней, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Варианты значений демпфирования

Вариант №1		Вариант №2		Вариант №3	
μ_1 , Н/(м/с)	μ_2 , Н/(м/с)	μ_1 , Н/(м/с)	μ_2 , Н/(м/с)	μ_1 , Н/(м/с)	μ_2 , Н/(м/с)
$15 \cdot 10^4$	$19 \cdot 10^4$	$18,75 \cdot 10^4$	$23,75 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$	$15,2 \cdot 10^4$

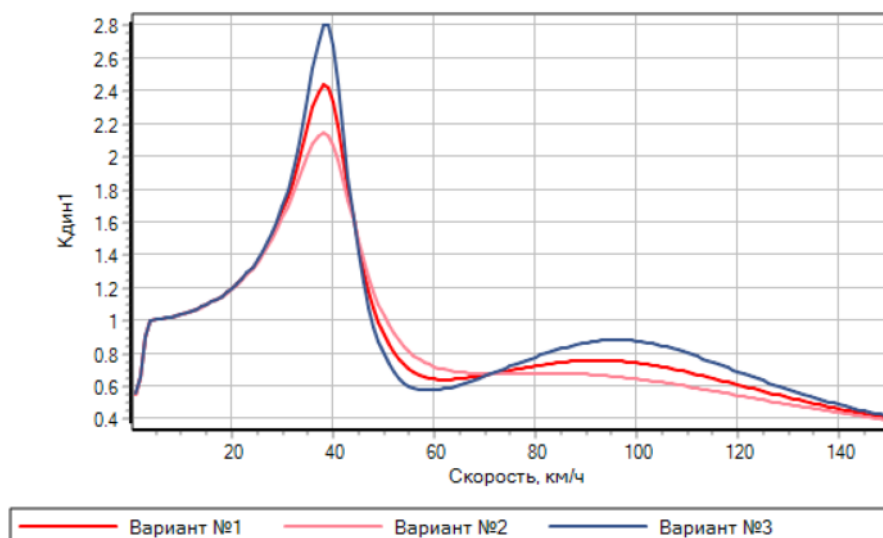


Рис. 7. Графики зависимости коэффициента $K_{дин1}$ от скорости ЭПС

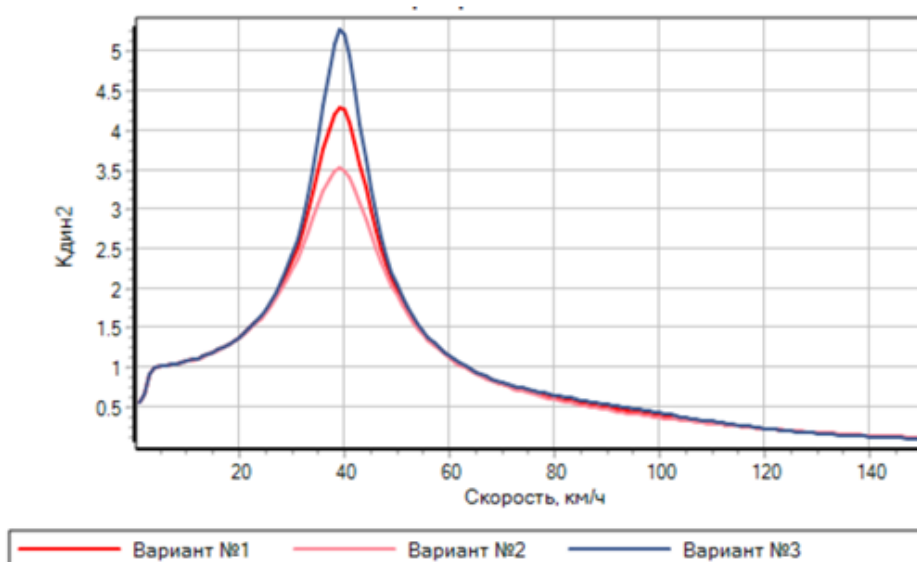


Рис. 8. Графики зависимости коэффициента $K_{дин2}$ от скорости ЭПС

Проанализировав графики на рисунках 7 и 8, можно сделать вывод, что увеличение параметров демпфирования на 25% приводит к уменьшению коэффициента вертикальной динамики рамы тележки на 12% и кузова на 18%. Одновременно с этим снижение параметров демпфирования на 25% приводит к увеличению коэффициента вертикальной динамики рамы тележки на 16% и кузова на 25%.

По мнению авторов, применение в образовательном процессе современных программных комплексов для моделирования динамических систем позволяет наглядно изучать процессы, протекающие в элементах и конструкциях подвижного состава.

Библиографический список

1. Зарифьян, А. А. Математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования транспортных средств / А. А. Зарифьян, А. П. Бондарев, В. Н. Кашников // Часть 1: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 97 с. – EDN WTCUPV.

2. **Карташов, Б. А.** Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов, Е. А. Шабает, О. С. Козлов, А. М. Щекатуров // М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с. – ISBN: 978-5-97060-482-3.

3. **Зарифьян, А. А.** Моделирование тягового электропривода локомотива в ПК "MATLAB/Simulink" / А. А. Зарифьян, П. Г. Колпахчан, В. В. Сироткин // Транспорт: наука, образование, производство: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 18–21 апреля 2017 года. Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 131-135. – ISBN: 978-5-88814-530-2.

4. **Зарифьян, А. А.** Компьютерная модель перспективного маневрового тепловоза с модульной энергетической установкой / А. А. Зарифьян, Н. В. Гребенников, Т. З. Талахадзе [и др.] // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ: Сборник тезисов, Брянск, 03–04 апреля 2018 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 33-36. – ISBN: 978-5-906967-87-9.

A. A. Zarifyan, D. V. Olkhovaton

ASSESSMENT OF MANUFACTURABILITY OF WELDED PARTS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Abstract. The article discusses the construction of a mathematical modeling of a railway carriage with a two-stage spring suspension. The structure of the computer model in the SimInTech software package is described, a numerical experiment is carried out and an analysis of the dependence of the vertical dynamics coefficient on the damping parameters is carried out.

Keywords: modeling; *SimInTech*; carriage; two-stage suspension; bouncing vibrations.

For citation: Zarifyan, A. A Simulation of oscillations of jumping of a carriage with two-stage spring suspension in SimInTech / A. A. Zarifyan, D. V. Olkhovaton // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 1. – P. 15–20.

Сведения об авторах

Зарифьян Александр Александрович
Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
доктор технических наук,
профессор,
e-mail: zarifian_aa@mail.ru

Ольховатов Дмитрий Викторович
Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук,
доцент,
e-mail: Dm@olkh.ru

Information about the authors

Zarifyan Alexander Alexandrovich
Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
e-mail: zarifian_aa@mail.ru

Olkhovaton Dmitry Victorovich
Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: Dm@olkh.ru