

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

При изучении динамических качеств рельсовых экипажей и, особенно, грузовых вагонов, важное место при формировании исходных данных, необходимых для математического и компьютерного моделирования, занимают массовые, геометрические, инерционные характеристики. Хотя названные параметры тем или иным образом связаны между собой, особый интерес вызывают именно инерционные характеристики. Тем более, что эти величины непосредственно участвуют в формировании динамических показателей исследуемых экипажей [1 - 6].

В случае грузовых вагонов кроме инерционных характеристик самого вагона необходимо учитывать аналогичные параметры и для груза, будь то сыпучий или тарный груз [5]. Данное исследование посвящено уточнению методов определения инерционных характеристик кузова вагона и груза для последующего использования этих данных при компьютерном моделировании динамики вагона.

Основная задача исследования динамических характеристик рельсовых экипажей заключается в том, чтобы определить оптимальные значения их параметров (геометрических размеров, величины масс, жесткостей, и т.п.), при которых сводятся к минимуму вредные колебания и динамические силы в конструкциях подвижного состава. Этому предшествуют решение задач по исследованию колебательных процессов вагона и его отдельных частей, установление критериев для оценки плавности хода, устойчивости против схода с рельсов, опрокидывания и выжимания из состава поезда. В уравнения, описывающие эти процессы, входят геометрические и массовые характеристики, а также в явном или неявном виде инерционные. Следовательно, эти показатели оказывают влияние на колебательные процессы, неизбежно возникающие при эксплуатации подвижного состава [2].

Модель любого рельсового экипажа при расчетах представляется в виде сосредоточенных масс, соединенных упругими связями и различного рода гасителями колебаний. Во многих случаях каждой из этих масс придаются инерционные характеристики, выражаемые полярными или экваториальными моментами инерции того или иного элемента экипажа. При проектировании новой единицы подвижного состава эти характеристики являются исходными в расчетах по оценке процессов взаимодействия вагона и пути [6].

Эксплуатация грузовых вагонов сопровождается наличием ударных воздействий при маневровых операциях, в поездной работе, применением высокопроизводительных погрузочно-разгрузочных механизмов. Вследствие этого увеличивается повреждаемость вагонов, количество и объёмы неплановых видов ремонта, повышается вероятность аварий. Расчеты на удар конструктивных узлов и элементов позволяют оценить на этапе проектирования не только прочность, но и надежность, а одной из важнейших составляющих этих расчетов является определение жесткостных характеристик каждого элемента конструкции [4].

Увеличение мощности локомотивов и тормозных средств подвижного состава, грузоподъемности вагонов, массы, длины и скорости движения поезда, интенсификации маневровых операций (не соблюдение скоростей соударения вагонов) привели к увеличению сил, действующих на подвижной состав и, как следствие этого, к возникновению нештатных и аварийных ситуаций. При расчетах продольных сил, действующих на вагоны и приводящих к аварийным ситуациям, в динамике поезда также используются массовые, геометрические и инерционные характеристики отдельных элементов [3].

В своё время большой вклад в развитие этого направления внес профессор Виктор Данилович Данович [9,10]. Под его руководством были проведены теоретические исследования динамических показателей некоторых типов вагонов, отраженные в статьях по грузовым вагонам и локомотивам с участием Анисимова П.С. [21], Литвина В.А [5,18]., Манашкина Л.А. [3,4,19,20], Мямлина С.В. [5,13-16], Недужей Л.А [5,22]., Швец (Малышевой) А.А. [5,17].

Инерционные характеристики определялись согласно основным законам теоретической механики, в частности её раздела «Динамика» [7].

Кузов вагона, так же, как и груз, представляются в виде отдельных тел, каждое из которых имеет свою массу, размеры и начальное положение в выбранной системе координат. Для каждого тела определяются моменты инерции относительно главных центральных осей инерции как без груза (для определения динамических показателей порожнего вагона), так и с грузом - масса кузова (тара с грузом) и высота центра масс кузова без груза и с грузом над плоскостью опирания надрессорных балок на рессорные комплекты. Определяются также геометрические моменты инерции каждого тела и площади в продольной вертикальной плоскости и в поперечной вертикальной плоскости.

После расчета исходные данные формируются и заносятся в таблицу 1.

ИНЕРЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Таблица 1

в порожнем и груженом состоянии

Наименование вагона	№ модели	Масса кузова с грузом M_0 и M , т		База вагона $2L$, м	Высота центра масс над УГР h , м		Моменты инерции кузова относительно центральных осей					
		порожн	груз		порож	груз	продольной I_x , тм ²		поперечной I_y , тм ²		вертикальной I_z , тм ²	
							порожн	груз	порожн	груз	порожн	груз
Полувагон	12-532	13.3	76.5	8.66	1.6	1.84	20	75	300	1050	300	1100
Платформа с металлическими бортами	13-401	13.6	63.6	9.72	1.1	2.1	13.5	22	240	1194	260	1223
Вагон для перевозки окатышей	20-4015	14.2	84.95	7.78	1.73	2.06	21.3	107.4	153.0	437.4	155.5	489.3
Вагон для перевозки бокситов	20-4076	13.2	84.0	7.78	1.69	2.5	20.5	147.7	157.5	497.5	158.5	524.7
Вагон для перевозки тухглерада	25-4001	16.4	84.1	13.37	2.0	2.7	44.2	197.8	494.9	1788.5	477.1	1716.9
Вагон-хоппер для перевозки угля №1	12-4034	18.72	88.34	7.84	1.77	2.7	33.55	159.3	299.85	1188.7	306.81	1244.7
Вагон-хоппер для перевозки угля №2	12-4034	18.70	90.44	7.84	1.72	2.47	32.72	163.6	295.24	1059.7	303.35	1079.6

Приведенные инерционные характеристики были использованы для определения динамических показателей вагонов. В качестве показателей, оценивающих динамические качества вагона, принимались следующие:

- коэффициенты вертикальной и горизонтальной динамики по обрессоренной, и необрессоренной частям вагона, а также по силам взаимодействия;

- вертикальные и горизонтальные поперечные ускорения пятников;

- боковые и направляющие силы, кромочные напряжения;

- взаимные перемещения тел вагона;

- показатели износа колес;

- коэффициенты устойчивости от схода колес с рельсов.

Исследование данной проблемы можно проводить методом математического моделирования пространственных колебаний грузового вагона с использованием программного комплекса «Wagon Dynamics (Single Wagon) 10.12.2007» [8,11] на основе Нормативных документов (Инструкция по осмотру, освидетельствованию и формированию вагонных колесных пар) [12].

При разработке программы использованы современные методы программирования, в частности, объектно-ориентированный подход к созданию пространственных моделей железнодорожных экипажей. Это позволило создавать модели практически любых типов железнодорожных экипажей без изменения основных текстов программ. Использование методов объектно-ориентированного программирования потребовало введения понятий «объект» экипажа и «связь». Объект – это любой недеформируемый элемент конструкции экипажа, у которого известна масса и моменты инерции относительно его главных осей. Связь – это деформируемый элемент конструкции экипажа, не имеющий массы и служащий для гашения относительных перемещений объектов. Набор связей в программе достаточно широк, но при необходимости может быть расширен в зависимости от используемых конструктивных элементов.

Процесс подготовки математической модели экипажа сводится к созданию массива объектов и связей, заданию их параметров и установки связей, по которым рассчитываются величины динамических показателей качества экипажа. Удобный интерфейс пользователя позволяет выполнять эти действия даже не специалисту в области пространственной динамики железнодорожных экипажей.

Для анализа поведения железнодорожных экипажей в различных условиях (т.е. при различном характере несовершенств железнодорожного пути) предлагаются различные типы вертикальных и горизонтальных неровностей. Неровности могут задаваться в виде детерминированных и/или случайных процессов.

Кроме всего вышперечисленного, для исследования чувствительности динамических показателей экипажа к изменениям инерционных параметров объектов или к изменениям параметров связей перед выполнением расчетов пользователь может задать так называемые аномалии объектов или связей, при этом типы объектов и связей изменить нельзя, но можно изменить их параметры.

При моделировании движения экипажа учитывается продольный профиль и план железнодорожного пути и вид профиля поверхности катания колесных пар.

Для выполнения моделирования движения экипажа выбираются: модель экипажа, участок движения, профиль колесных пар экипажа, задаются: диапазон изменения скорости, шаг регистрации результатов, длина участка, на котором будет выполнено моделирование движения поезда и некоторые другие параметры (рис.1).

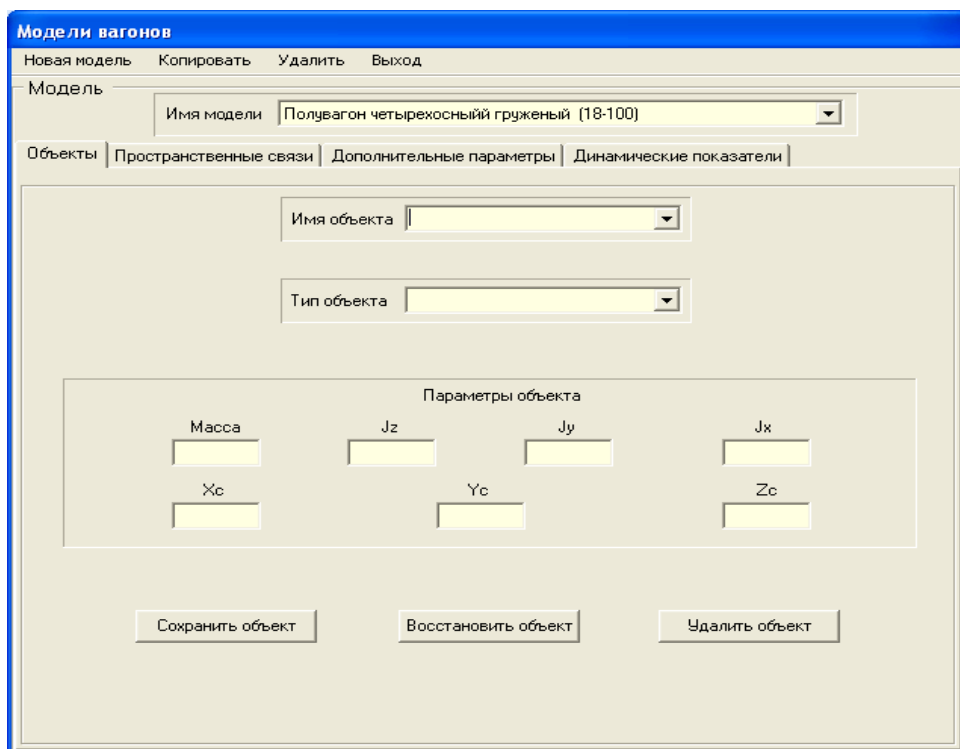


Рис. 1 – Панель параметров вагона

На первой закладке задаются параметры объектов вагона, на второй – пространственных связей между объектами, на третьей – дополнительные параметры и на четвертой – связи, определяющие вычисление динамических показателей вагона.

Также существует дополнительная закладка окна для задания аномалий объектов и связей (рис. 2).

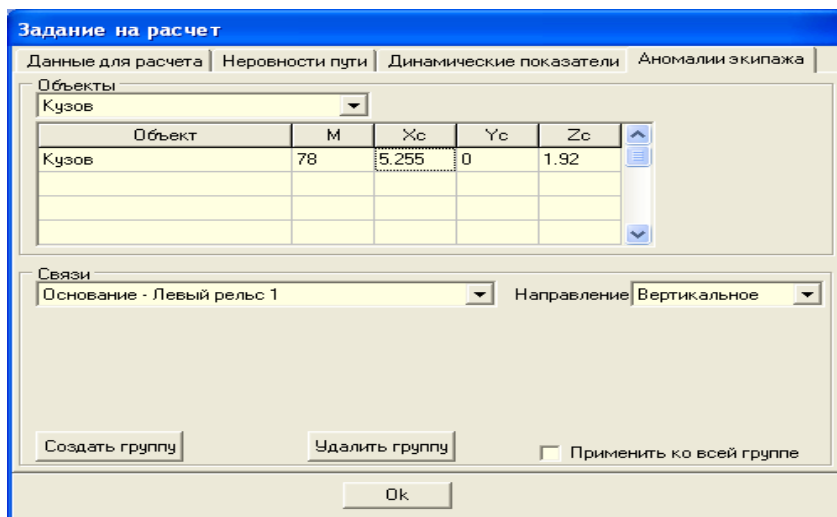


Рис. 2 – Панель для задания аномалий объектов

Аномалии объектов или связей – это измененные значения выбранных параметров (для объектов это инерционные параметры и координаты центра масс, для связей это параметры связи) по сравнению с заданными значениями в модели (рис.3).

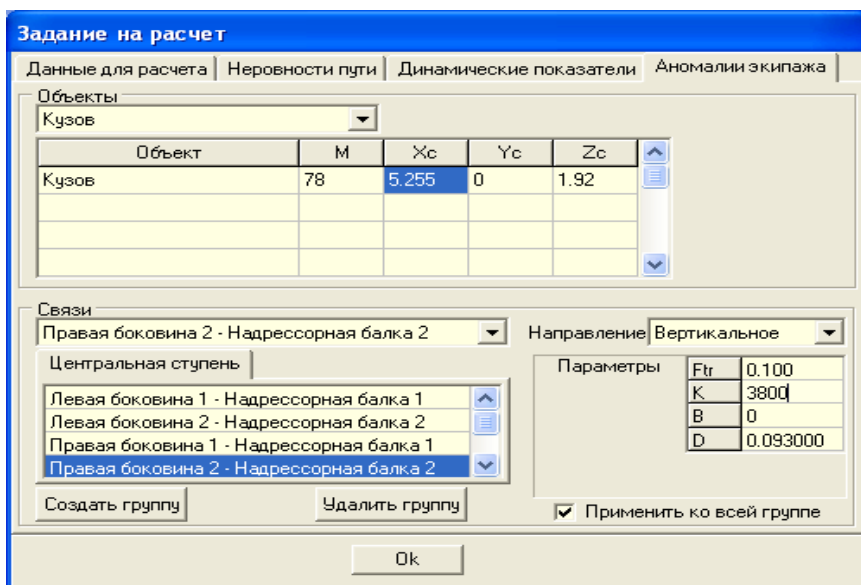


Рис. 3 – Панель для задания аномалий связей

Для задания аномалий объектов (например, кузова) необходимо из списка объектов выбрать нужный и изменить значения его параметров.

Для изменения параметров необходимо выбрать нужное направление связи и в таблице параметров изменить нужные параметры. Флаг «Применить ко всей группе» означает, что после изменения параметры всей группы будут одинаковы. Если этот флаг выключен, то для каждой связи группы можно задать различные значения параметров.

При необходимости можно создать несколько групп связей и изменить параметры связей каждой группы, но одна связь должна входить только в одну группу.

По выполненным расчетам можно выполнить сопоставление динамических качеств некоторых типов грузовых вагонов, с результатами экспериментальных исследований.

Таким образом, дополнение математических моделей пространственных колебаний исходными данными с уточненными инерционными характеристиками элементов вагонов и грузов позволяет приблизить результаты расчетов к реальному состоянию объектов и тем самым повысить достоверность математического и компьютерного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарян В.А. Динамика вагонов. М.: Транспорт, 1964. - 256 с.
2. Вершинский СВ., Данилов В.Н, Челноков И.И. Динамика вагона. М.: Транспорт, 1972. - 304 с.
3. Блохин Е.П., Л.А. Манашкин. Динамика поезда. М.: Транспорт, 1982. - 222 с.
4. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах: Учеб. пособие для ВУЗов ж.-д. трансп. /Е.П. Блохин, И.Г. Барбас, Л.А. Манашкин и др. М: Транспорт, 1989. - 230 с.
5. Литвин В.А., Мямлин С.В., Малышева А.А., Недужая Л.А. Динамические показатели некоторых типов вагонов /Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения/ Межвуз. сб. науч. тр. – Д.: ДИИТ, 1994. - С. 95 - 104.
6. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. - 560 с.
7. С.М. Тарг. Краткий курс теоретической механики. Учебник для вузов. М.: «Высшая школа», 1986. - 418 с.
8. С.В. Мямлин. Моделирование динамики рельсовых экипажей. Днепропетровск: «Новая идеология», 2002. – 240с.

9. В.Д. Данович. Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: Дис.... д-ра техн. наук/ДИИТ.- Д., 1982. – 465с.
10. Коротенко Н.К., Данович В.Д. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного вагона с учетом конечной жесткости кузова и инерционных свойств основания// Проблемы механики наземного транспорта.: Межвуз. сб. науч. тр. – Д.:ДИИТ, 1973.- Вып. 199/25.- С. 3 - 13.
11. Свидетельство об авторских правах DYNRAIL. Мямлин С.В.
12. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар. ЦВ–ЦЛ–0062.– К.: Укрзалізниця, 2006. – 108 с.
13. Динамика грузовых вагонов с дополнительными связями между элементами ходовых частей [Текст] : сборник научных трудов / С.В. Мямлин. - // Транспорт : Зб. наук. праць / ДДТУЗТ. - Дніпропетровськ, 1999. - Вип. 2. - С. 37 – 44.
14. Связь динамических показателей груженого полувагона с ускорением корпусов букс [Текст] : сборник научных трудов / С.В.Мямлин. - // Транспорт : Зб. наук. праць / ДДТУЗТ. - Дніпропетровськ, 2001. - Вип. 7. - С. 86 – 89.
15. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по ж.-д. путям колеи 1520 мм [Текст] / В.Д. Данович, В.В. Рыбкин, С.В. Мямлин, А.Г. Рейдемейстер, А.Г. Трякин, Н.В. Халипова. - // Вісник ДНУЗТ. - 2003. - Вип. 2. - С. 77 – 86.
16. Резонансные явления при колебаниях грузового вагона [Текст] / С.В. Мямлин. - // Залізн. трансп. України. - 2001. - № 4. - С. 24 – 26.
17. Математическая модель пространственных колебаний сцепы пяти вагонов, движущихся по прямолинейному участку пути [Текст]: сборник научных трудов / В.Д. Данович, А.А. Малышева. - // Транспорт. Нагруженность и прочность подвижного состава: Сб науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск : "Наука и образование", 1998. - С. 62 – 69.
18. Моделирование соединительных элементов типа "сухое трение" в компьютерных программах для решения задач динамики рельсовых экипажей [Текст] : материалы временных коллективов / В.Д. Данович, В.А. Литвин. - // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Динамика, надежность и безопасность подвижного состава (29.05 - 31.05.1996) : Тез. докл. IX Междунар. конф. / ДДТУЗТ. - Днепропетровск, 1996. - С. 77.
19. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний поезда [Текст] : сборник научных трудов / Л.А. Манашкин, Н.И. Грановская. - // Механика транспорта: вес поезда, скорость,

- безопасность движения : Межвуз. сб. науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск, 1994. - С. 15 – 25.
20. Продольные и вертикальные силы в поездах из порожних полувагонов при переходных режимах движения [Текст] : сборник научных трудов / Л.А. Манашкин, Н.И. Грановская, В.В. Колбун. - // Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения : Межвуз. сб. науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск, 1994. - С. 25 – 33.
21. Тележка грузовых вагонов с улучшенными динамическими качествами [Текст] / В.А. Двухглавов, П.С. Анисимов, Г.В. Левков, В.Д. Данович и др. - // Ж.-д. трансп. - 1978. - № 12. - С. 48 – 49.
22. Математическая модель пространственных колебаний электровоза с модернизированной схемой соединения кузова с тележками [Текст] : сборник научных трудов / В.Д. Данович, М.Л. Коротенко, С.В. Мямлин, Л.А. Недужая. - // Транспорт. Повышение эффективности работы устройств электр. трансп. : Межвуз. сб. науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск, 1999. - С. 182 – 189.

REFERENCES

1. Lazarian V. A. *Dynamica vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p. (in Russian)
2. Vershynskiy S. V., Danilov V. I., & Chelnokov I. I. *Dynamica vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1972. 208 p.
3. Blokhin, Y. P., & Manashkin, L. A. (1982). *Dinamika poyezda (nestatsionarnyye prodolnyye kolebaniya)* [Monograph]. Moscow: Transport. (in Russian)
4. Blokhin, Y. P., Barbas, I. G. & Manashkin, L. A. (1989). *Raschet gruzovykh vagonov na prochnost pri udarakh*. Moscow: Transport. (in Russian)
5. Litvin V., Myamlin S., Malysheva A., & Neduzhaja L., 1994.: *Dynamic parameters of some cars types. Mechanics of transport: train weight, speed, safety of movement. Interuniversity collect. of sc. Papers. Dnepropetrovsk, ДИТ, 95-104.* (in Russian)
6. Verigo M. F., & Kogan A. J. (1986) *Vzaimodeystvie puti i podvyzhnogo sostava* [The interaction of track and rolling stock]. Moscow, Transport.
7. Targ S., 1986.: *Short course of theoretical mechanics. Textbook for high schools.* Moscow, «Higher school», 418. (in Russian)
8. Myamlin S., 2002.: *Simulation of railway vehicles dynamics.* Dnepropetrovsk, «New ideology», 240. (in Russian)
9. Danovich, V. D. (1982). *Prostranstvennye kolebaniya vagonov na inertsiionnom puti.* (Dysertatsiia doktora tekhnichnykh nauk).

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk.

10. Korotenko, M. L. & Danovich, V. D. (1971). *Differentsialnye uravneniya prostranstvennykh kolebaniy chetyrekhosnogo vagona s uchetom konechnoy zhestkosti kuzova i inertsionnykh svoystv osnovaniya*. Trudy DIITa, 199/25, 3-13. (in Russian)
11. Myamlin S. V. Computer «Dynamics of Rail Vihsces » («DYNRAIL»). Certificate of copyright registration on the invention, no. 7305, 2003.
12. Instruction on examination, service, overhaul and make up of wheelsets. 2006.: CV-CL-0062. Kyiv, Ukrzaliznytsa, 108 (in Ukrainian).
13. Myamlin S., 1999.: Dynamics of freight cars with additional connections between the elements of the running parts: collection of scientific papers. Transport: collect. of sc. papers, DNURT, Dniepropetrovsk. Issue 2, 37-44. (in Russian)
14. Myamlin S., 2001.: Connection of dynamic parameters of laden gondola car with acceleration of axle boxes frame: collection of scientific papers. Transport: collect. of sc. papers, DNURT, Dniepropetrovsk. Issue 7, 86-89. (in Russian)
15. Danovich V., Rybkin V., Myamlin S., Reydemeister A., Tryakin A., & Halipova N., 2003.: Determination of permissible speeds of freight cars movement along railway tracks with 1520 mm gauge. Bulletin DGTURT. Issue 2, p. 77-86. (in Russian)
16. Myamlin, S. V. (2001). Rezonansnye yavleniya pri kolebaniyakh gruzovogo vagona. Railway transport of Ukraine, 4, 24-26. (in Russian)
17. Danovich, V. D. & Malysheva, A. A. (1998) Matematicheskaya model prostranstvennykh kolebaniy stsepa pyati vagonov, dvizhushchikhsya po pryamolineynomu uchastku puti [Mathematical model of spatial oscillations five cars connection moving along a straight track section: collection of scientific papers.] Transport. Stress loading and durability of a rolling stock: collect. of sc. papers, DGTURT, Dniepropetrovsk: "Science and education", 62-69. (in Russian)
18. Danovich, V. D., & Litvin, V. A. (1996). Modeling of "dry friction" connecting elements in computer programs for solving problems of dynamics of rail vehicles: Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 29-31 maya 1996. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan.
19. Manashkin, L. A. & Granovskaya, N. I. (1994) Differentsialnye uravneniya prostranstvennykh kolebaniy poezda [Differential equations of space oscillations of a train: collection of scientific papers.] Transport: collect. of sc. papers, DNURT, Dniepropetrovsk, 15-25. (in Russian)
20. Manashkin, L. A., Granovskaya, N. I. & Kolbun V. V. (1994) Prodolnye i vertikalnye sily v poezdakh iz porozhnikh poluvagonov pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya [Longitudinal and vertical forces in

trains from empty open-top wagons under transitional modes of motion: collection of scientific papers.] Transport: collect. of sc. papers, DNURT, Dnipropetrovsk, 25-33. (in Russian)

21. Dvukhglavov, V. A., Anisimov, P. S., Levkov, G. V., Danovich, V. D. [and others] (1978). Telezhka gruzovykh vagonov s uluchshennymi dinamicheskimi kachestvami. Railway transport, 12, 48-49. (in Russian)
22. Danovich V., Korotenko M., Myamlin S., & Neduzhaja L., 1999.: Mathematical model of spatial oscillations of electric locomotive with the modernised scheme of body and bogies connection: collection of scientific papers. Transport. Increase of operating efficiency of electric transport equipment. Interuniversity collect. of sc. papers, DGTURT, Dnipropetrovsk, 182-189. (in Russian)