

Случайные процессы взаимодействия пути и подвижного состава

А. Я. КОГАН¹, Э. Д. ЗАГИТОВ², И. В. ПОЛЕЩУК³

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

²Центр обследования и диагностики инженерных сооружений — филиал открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (Центр ИССО ОАО «РЖД»), Москва, 127299, Россия

³Российская открытая академия транспорта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (РОАТ МИИТ), Москва, 125190, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена классификация задач взаимодействия пути и подвижного состава. Представлена структура и основные выражения разработанной стохастической модели взаимодействия пути и подвижного состава. Проведено сравнение результатов расчетов взаимодействия пути и подвижного состава по стохастической модели с расчетами по моделям «Универсальный механизм» и NUCARS. Стохастические методы, основные положения которых изложены в данной статье, позволяют определять вероятностные характеристики напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути и напряжений на основной площадке земляного полотна при реальном потоке эксплуатационных нагрузок на заданном участке и решать важнейшие технико-экономические задачи, связанные с эксплуатацией путевой инфраструктуры.

Ключевые слова: железнодорожный путь; взаимодействие пути и подвижного состава; стохастическая модель; колебания

Актуальность проблемы. Распоряжением ОАО «РЖД» от 23 декабря 2015 г. утверждена новая методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД». В настоящее время осуществляются работы по актуализации нормативной документации по содержанию инфраструктуры железнодорожных линий, нормированию расходов по основным видам деятельности и формированию требований к конструкциям инфраструктуры с учетом специализации линий.

Оптимизация стоимости жизненного цикла конструкций железнодорожного пути для различных линий является многофакторной задачей.

Железнодорожный путь можно рассматривать как динамическую систему, на вход которой подаются ухудшающие воздействия — эксплуатационные нагрузки и улучшающие воздействия — мероприятия технического обслуживания и ремонта.

Результатом этих двух воздействий на физическом уровне являются силовые показатели взаимодействия пути и подвижного состава и зависящие от них параметры, к которым относятся:

- силы взаимодействия в точках контактов системы колесо — рельс;
- деформации и напряжения элементов верхнего строения пути и на основной площадке земляного полотна;
- износы элементов пути, накопление остаточных деформаций пути и его элементов.

На основе перечисленных показателей можно делать анализ эффективности затрат для текущего состояния пути, а также выполнять сценарное прогнозирование его изменения с целью оптимизации вложений, что и является конечной целью ОАО «РЖД». Поэтому подходы, позволяющие определять показатели взаимодействия пути и подвижного состава, выдвигаются на первый план, как обязательные источники первичной аналитической информации.

Проблемам взаимодействия пути и подвижного состава посвящены многие работы отечественных и зарубежных ученых, конструкторов и специалистов. Не будем останавливаться на анализе указанных работ, поскольку читатель может найти их описание в книге под авторством М. Ф. Вериги и А. Я. Когана [1] и в работе Ю. С. Ромена [2].

Классификация задач взаимодействия пути и подвижного состава. При изучении процессов взаимодействия пути и подвижного состава исследуют колебания и динамические силы, развивающиеся в единой динамической системе путь — экипаж. Задачи, решаемые при исследованиях взаимодействия пути и подвижного состава, можно классифицировать по признаку «объект изучения», имея в виду при этом сочетание «объекта изучения в пути» и «объекта изучения в подвижном составе». Под объектом изучения в пути можно понимать наперед заданное сечение пути (или даже одного рельса), или совокупность наперед заданных сечений пути (в том числе одноименных, например стыков рельсов, крестовин стрелочных переводов и т. п.), или непрерывно заданный участок пути.

Под объектом изучения в подвижном составе понимают заданное колесо заданной единицы подвижного

Таблица 1

Классификация задач взаимодействия пути и подвижного состава

Table 1

Classification of tasks of interaction between track and rolling stock

Объект изучения	Наперед заданное сечение пути	Совокупность наперед заданных сечений пути	Непрерывно заданный участок пути
Заданное колесо заданной единицы подвижного состава	1	2	3
Одноименные колеса однотипных экипажей	4	5	6
Все колеса заданного экипажа	7	8	9
Все колеса одноименных экипажей	10	11	12
Все колеса поездов	13	14	15

состава, одноименные колеса однотипных экипажей, все колеса заданного экипажа, все колеса одноименных экипажей, все колеса поездов.

Представим возможные варианты в этой классификации для исследования номера задач в виде таблицы, приведенной ниже (табл. 1).

Задачи № 1 – 3, 7 – 9 решают обычно при испытаниях взаимодействия пути и подвижного состава; задачи № 4, 5, 10 – 12 — при расчетном установлении наибольших допускаемых скоростей заданного типа подвижного состава; задачи № 13 – 15 — при оценке воздействия на путь подвижного состава (оценка долговечности элементов верхнего строения пути при заданном уровне эксплуатации, оценка накопления остаточных деформаций пути и др.).

Задачи № 1, 2, 7 и 8 могут решаться в детерминистической постановке, так как для их решения могут быть точно заданы начальные и граничные условия, для этого используются модели взаимодействия пути и подвижного состава, в основу которых положено интегрирование систем дифференциальных уравнений и метод конечных элементов.

Остальные задачи должны решаться в вероятностной постановке, поскольку все исходные данные для их решения могут быть определены только в вероятностной форме. Применение детерминистических моделей для решения таких задач (наравне с вероятностными) возможно только при условии проведения массовых расчетов с получением ансамблей реализации процессов и последующим определением основных статистических характеристик. Такой подход требует использования суперкомпьютеров при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Одним из основоположников применения вероятностных методов при разработке моделей взаимодействия пути и подвижного состава был проф. М. Ф. Вериго.

Известно, что реальные осевые нагрузки экипажа, геометрия рельсовой колеи, неровности на поверхностях катания колес и другие параметры являются случайными. Для анализа взаимодействия пути и подвижного состава в условиях случайного характера возмущающих воздействий на входе в систему должны применяться методы теории вероятности и теории случайных функций.

Стохастическая модель взаимодействия пути и подвижного состава. В работе [3, с. 304 – 319; 4, 5] представлена модель взаимодействия пути и подвижного состава, разработанная на основе методов теории случайных функций и теории вероятности.

Общие уравнения, описывающие колебания виляния, отбоя и боковой качки (боковые колебания) экипажа, могут быть разделены на нелинейные уравнения вписывания экипажа, определяющие среднее положение системы при вписывании экипажа в кривую, и уравнения колебаний, описывающие отклонения координат системы от их средних значений [6]. Система линейных уравнений, описывающих стохастические боковые колебания экипажа, когда невозмущенное движение асимптотически устойчиво (относительно положения изолированного равновесия), может быть записана в матричной форме:

$$\mathbf{A}\tilde{\mathbf{y}} = \mathbf{B}\tilde{\mathbf{E}}, \quad (1)$$

где $\tilde{\mathbf{y}}$ — вектор преобразованных по Фурье смещений элементов системы; $\tilde{\mathbf{E}}$ — вектор преобразованных по Фурье неровностей под колесами экипажа; $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$ — прямоугольные матрицы коэффициентов при составляющих векторов $\tilde{\mathbf{y}}$ и $\tilde{\mathbf{E}}$ соответственно. Уравнение (1) может быть решено относительно вектора $\tilde{\mathbf{y}}$:

$$\tilde{\mathbf{y}} = \mathbf{W}_y(i\omega)\tilde{\mathbf{E}}, \quad (2)$$

где $\mathbf{W}_y(i\omega) = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}$; $\mathbf{A}^{-1}$ — матрица, обратная матрице $\mathbf{A}$; ω — частота колебаний; i — мнимая единица.

Как видно из равенства (2), динамические свойства системы, описывающей колебания виляния отбоя и боковой качки, в рассматриваемом случае полностью определяются матрицей $\mathbf{W}_y(i\omega)$, элементами которой являются частотные характеристики с входами по неровностям под колесами экипажа в плане и по уровню и выходами по перемещениям масс экипажа. Входные воздействия системы — неровности пути в плане $\gamma^0(vt)$ и возвышение одного рельса над другим $h_p^0(vt)$ — определяются экспериментально по результатам обмеров пути. В первом приближении процессы $\gamma^0(x)$ и $h_p^0(x)$ можно считать корреляционно независимыми. Учитывая, что неровности пути в плане и по уровню повторяются под всеми колесами экипажа и совпадают друг с другом с точностью до фазы, определяемой расстояниями между колесами, можно сформировать матрицы $\mathbf{S}_\gamma(\omega)$ и $\mathbf{S}_h(\omega)$ спектральных плотностей отклонений рель-

$$\mathbf{S}_h(\omega) = S_h^0 \mathbf{R}, \quad (4)$$

Осцилляционная матрица $\mathbf{R}$, входящая в равенства (3) и (4), имеет следующий вид:

В формуле (5) применена сплошная нумерация абсцисс колесных пар a_i , начиная с последней по ходу движения (слева направо). Учитывая допущение о корреляционной независимости случайных процессов $\gamma^0(vf)$ и $h_p^0(vf)$ и принимая во внимание соотношения (3) – (4), можно сформировать следующую квазиматрицу взаимных спектральных плотностей входных воздействий в рассматриваемую динамическую систему в случае, когда невозмущенное движение асимптотически устойчиво:

Матрица (6) определяет основную статистическую характеристику центрированного векторного случайного процесса

Если случайные процессы $\gamma^0(vt)$ и $h_p^0(vt)$ считать гауссовскими, матрица (6) является исчерпывающей характеристикой всех статистических свойств векторного случайного процесса (7). Имея матрицу частотных характеристик системы, определяемую выражением (2), и матрицу спектральных плотностей входов этой системы (6), по известной формуле теории стационарных случайных процессов можно определить матрицу спектральных плотностей процессов перемещений элементов экипажа:

Система уравнений стохастических колебаний экипажа в случае, когда невозмущенное движение неустойчиво, может быть записана в следующей матричной форме:

Если матрицу $\mathbf{A}(\omega_0)$ записать в виде

и условиться, что первая строка и первый столбец этой матрицы соответствуют координате y_{11} , то будем иметь

Модальный столбец $\mathbf{V}$ представляет собой нормированный относительно координаты y_{11} собственный вектор линейной части системы (9). В связи с этим решения, соответствующие корню $\lambda = i\omega_0$ и удовлетворяющие линейной (левой) части системы уравнений (9), могут быть записаны в нормальной форме [7]

Таблица 2
Результаты расчетов боковых сил
Table 2

Results of calculation of lateral forces		
$a_{\text{ин}}, \text{м/с}^2$	Боковые силы, кН	
	Расчеты по стохастической модели	Расчеты по NUCARS
-0,1	34,9	33
-0,33	31,2	36
-0,47	29,4	33
-0,5	28,7	26

Определив вероятностные параметры случайных процессов углов боковой качки кузова, поперечных смещений колесных пар относительно оси пути, а также продольных и поперечных скольжений колесных пар как в случае устойчивого, так и в случае неустойчивого движения экипажа, можно найти вероятностные характеристики боковых сил, действующих на рельсы от колес экипажа, и дополнительных вертикальных сил в контактах колес и рельсов, возникающих при боковой качке экипажа. Для решения этой задачи может быть применен математический аппарат теории полиномов Эрмита.

Примеры результатов расчетов боковых сил (по наружной нити) при движении груженого полувагона в кривой радиусом 430 м, возвышением 75 мм при различных уровнях непогашенного ускорения приведены в табл. 2. Расчеты выполнены по разработанной стохастической модели и программе «NUCARS» [8].

Матрицу взаимных спектральных плотностей динамических сил в контактах колес и рельсов при колебаниях подпрыгивания и галопирования экипажа можно получить с использованием известной

формулы теории случайных процессов, определяющей спектральную плотность процессов на выходе линейной системы [5]

$$\mathbf{S}_Q^{(i)}(\omega) = \bar{\mathbf{W}}_p(i\omega) \mathbf{S}_\Xi(\omega) \mathbf{W}_p^T(i\omega), \quad (12)$$

где $\mathbf{S}_Q^{(i)}(\omega)$ — матрица взаимных спектральных плотностей динамических сил в контактах колес и рельсов при колебаниях подпрыгивания и галопирования экипажа; $\mathbf{W}_p(i\omega)$ — матрица частотных характеристик, связывающая неровности пути в профиле и неровности на поверхностях катания колес с динамическими силами в контактах колес и рельсов; $\bar{\mathbf{W}}_p(i\omega)$ — матрица частотных характеристик, комплексно сопряженная с матрицей $\mathbf{W}_p(i\omega)$; $\mathbf{W}_p^T(i\omega)$ — матрица частотных характеристик, транспонированная по отношению к матрице $\mathbf{W}_p(i\omega)$; $\mathbf{S}_\Xi(\omega)$ — матрица взаимных спектральных плотностей суммарных неровностей в контактах колес экипажей и рельсов.

Примеры результатов расчетов взаимодействия пути и подвижного состава при движении груженого полувагона в кривой радиусом 600 м, возвышением 60 мм при скорости 50 км/ч приведены в табл. 3. Расчеты выполнены по разработанной стохастической модели и программе «Универсальный механизм» [9].

Матрица взаимных спектральных плотностей вертикальных неровностей $\mathbf{S}_\Xi(\omega)$ может быть записана в виде [3]

$$\mathbf{S}_\Xi(\omega) = \mathbf{S}_{\Xi\Pi}(\omega) + \mathbf{S}_{\Xi\text{К}}(\omega) = \mathbf{S}_{\Xi\Pi} \mathbf{R} + \mathbf{S}_{\Xi\text{К}}(\omega) \mathbf{E}, \quad (13)$$

где $\mathbf{S}_{\Xi\Pi}(\omega)$ — матрица взаимных спектральных плотностей неровностей пути под колесами экипажей; $\mathbf{S}_{\Xi\text{К}}(\omega)$ — матрица взаимных спектральных плотностей неровностей на колесах экипажей; $\mathbf{S}_{\Xi\Pi}(\omega)$ — спектральная плотность эргодического процесса неровностей

Таблица 3
Результаты расчетов взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости

Table 3

The results of calculations of interaction between track and rolling stock in the vertical plane						
Показатели (под колесами, движущимися по наружной нити)	Расчетная программа	Значение	Номер колесной пары			
			1	2	3	4
Отжатие рельса, мм	Стохастическая модель	Среднее	1,20	0,20	1,10	0,00
		СКО	0,17	0,40	0,16	0,38
		Максимальное вероятное	1,63	1,20	1,50	0,95
	Универсальный механизм	Среднее	1,13	0,35	1,11	0,36
		СКО	0,33	0,27	0,35	0,29
		Максимальное вероятное	1,96	1,03	1,99	1,09
Вертикальный прогиб рельса, мм	Стохастическая модель	Среднее	1,20	1,20	1,20	1,20
		СКО	0,05	0,06	0,05	0,06
		Максимальное вероятное	1,33	1,35	1,33	1,35
	Универсальный механизм	Среднее	1,06	1,04	1,05	1,04
		СКО	0,10	0,08	0,10	0,07
		Максимальное вероятное	1,31	1,23	1,30	1,23

пути, включающих в себя неровности на поверхностях катания рельсов и дополнительные несовершенства пути (зазоры между рельсом и подрельсовым основанием, неравноупругость пути); $S_{\xi_k}(\omega)$ — спектральная плотность неэргодического стационарного процесса неровностей на поверхностях катания колес экипажа; E — единичная матрица; R — осцилляционная матрица, определяемая по формуле (5).

Заметим, что параметру Ω соответствует длина неровности

$$l = \frac{2\pi}{\Omega}. \quad (14)$$

Методы определения спектральных плотностей $S_{\xi_{\text{п}}}(\omega)$ и $S_{\xi_k}(\omega)$ изложены в работах [3, 10].

Заключение. Решение задач определения показателей надежности и оптимизации стоимости жизненного цикла конструкции железнодорожного пути невозможно без привлечения вероятностных методов оценки напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути, по которому движутся с различными скоростями поезда, сформированные из вагонов различной конструкции с различными осевыми нагрузками. При этом необходимо учитывать также план и профиль линии, скорость движения экипажей и их динамические качества, а также конструкцию верхнего строения пути и земляного полотна и их фактическое состояние. Перечисленные факторы могут быть учтены только при условии применения вероятностных методов расчетов динамики и прочности пути.

Прямые стохастические методы, основные положения которых изложены в данной статье, позволяют определять вероятностные характеристики напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути при реальном потоке эксплуатационных нагрузок на заданном участке и решать важнейшие технико-экономические задачи, связанные с эксплуатацией путевой инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 560 с.
2. Ромен Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой коле. Методы расчета и испытаний. М.: ВМГ-Принт, 2014. 210 с.
3. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Транспорт, 1997. 326 с.
4. Коган А. Я., Полещук И. В. Об основных параметрах, определяющих устойчивое движение экипажей // Вестник ВНИИЖТ. 2005. № 2. С. 4–6.
5. Коган А. Я., Загитов Э. Д. Аналитический метод построения кривых крива // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 4. С. 32–34.
6. Ланда П. С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980. 260 с.
7. Леннинг Дж. Х., Беттин Р. Г. Случайные процессы в задачах автоматического управления. М.: Издательство иностранной литературы, 1958. 388 с.
8. Klausner P. E., Willson N. J., Handal S. N., Dembosky M. A. User Manual for NUCARS Version 2.1, TTC AAR Report SD-043-(rev 9/95), 1995. 390 p.
9. Погорелов Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем твердых тел. Брянск: БГТУ, 1997. 153 с.
10. Коган А. Я., Никитин Д. А., Полещук И. В. Колебания пути при высоких скоростях движения экипажей и ударном взаимодействии колес и рельса: труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 166 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОГАН Александр Яковлевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, отделение «Путь и путевое хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

ЗАГИТОВ Эльдар Данилович, канд. техн. наук, главный инженер, Центр обследования и диагностики инженерных сооружений — филиал открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (Центр ИССО ОАО «РЖД»)

ПОЛЕЩУК Ирина Васильевна, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Железнодорожный путь, машины и оборудование», РОАТ МИИТ

Статья поступила в редакцию 29.03.2016 г., актуализирована 2.06.2016 г., принята к публикации 1.07.2016 г.

Random processes of interaction between track and rolling stock

A. Ya. KOGAN¹, E. D. ZAGITOV², I. V. POLESCHYUK³

¹Joint Stock Company "Railway research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

²Inspection and Diagnostics of Engineering Constructions Centre — Subsidiary of Joint Stock Company "Russian Railways" (Centre ISSO JSC "RZD"), Moscow, 127299, Russia

³Russian Open Transport Academy of Moscow State University of Railway Engineering (ROAT MIIT), Moscow, 125190, Russia

Abstract. Optimization of life-cycle cost of structures of railway track for different lines is a multi-task.

Railway track can be seen as a dynamic system, which is got as the input deteriorating impact — operational load and enhancing impact — maintenance and repair activities.

Results of these two effects on physical level are the force indicators of interaction between track and rolling stock and parameters depend on them, which include:

forces of interaction in contact point of wheel — rail system; deformations and stresses of elements of track superstructure and in the main level of subgrade; track wear, accumulation of residual deformations in track and its elements.

It is known that the actual axial loads on carriage, geometry of the track, irregularities on rolling surface of the wheels and other parameters are random. To analyze the interaction between track and rolling stock in the conditions of the random nature of disturbances methods of the probability theory and

■ E-mail: isso_nto@mail.ru (E. D. Zagitov)

the theory of random functions should apply as the input of the system.

This article presents the structure and the basic expression patterns of interaction model between track and rolling stock, developed on the basis of methods of the theory of random functions and probability theory. A comparison of results of calculations of interaction between track and rolling stock was made on the basis of stochastic model by calculations of "Universal Mechanism" model and NUCARS. Stochastic methods, the main provisions of which are outlined in this article, make it possible to determine the probability characteristics of the stress-deformation state of the elements of track superstructure and the stresses on the main level of the subgrade with the real flow of operational loads on a given area. This method also helps solving the most important technical and economic problems related to the operation of track infrastructure.

Keywords: railway track; interaction between track and rolling stock; stochastic model; vibrations

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-195-200>

REFERENCES

1. Verigo M. F., Kogan A. Ya. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Track and railway vehicle interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986, 560 p.
2. Romen Yu. S. *Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel'sovoy kolee. Metody rascheta i ispytaniy* [Railway vehicle dynamics in railway gauge. Methods for calculation and tests]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, 210 p.
3. Kogan A. Ya. *Dinamika puti i ego vzaimodeystvie s podvizhnym sostavom* [Track dynamics and its interaction with rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1997, 326 p.
4. Kogan A. Ya., Poleschyuk I. V. *Ob osnovnykh parametrah, opredelyayushchikh ustoychivoe dvizhenie ekipazhey* [On main parameters defining stable carriage motion]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2005, no. 2, pp. 4–6.
5. Kogan A. Ya., Zagitov E. D. *Analiticheskiy metod postroeniya krivykh kripa* [Analytical method for building creep curves]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2007, no. 4, pp. 32–34.

6. Landa P. S. *Avtokolebaniya v sistemakh s konechnym chislom stepeney svobody* [Self-oscillations in systems with a finite number of degrees of freedom]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 260 p.

7. Lenning J. H., Bettin R. G. *Sluchaynye protsessy v zadachakh avtomaticheskogo upravleniya* [Random processes in automatic control tasks]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ. [Foreign literature publishing house], 1958, 388 p.

8. Klauser P. E., Willson N. J., Handal S. N., Dembosky M. A. *Users Manual for NUCARS Version 2.1*, TTC AAR Report SD-043-(rev 9/95). 1995, 390 p.

9. Pogorelov D. Yu. *Vvedenie v modelirovanie dinamiki sistem tverdykh tel* [Introduction to the modeling of the dynamics of systems of solids]. Bryansk, BG TU Publ. [Bryansk State Technical University], 1997, 153 p.

10. Kogan A. Ya., Nikitin D. A., Poleschyuk I. V. *Kolebaniya puti pri vysokikh skorostyakh dvizheniya ekipazhey i udarnom vzaimodeystvii koles i rel'sa* [Track oscillations at high speeds of the vehicle and impact interaction of wheels and rails]. Trudy VNIIZhT. [Proc. of the Railway Research Institute], Moscow, Intext Publ., 2007, 166 p.

ABOUT THE AUTHORS

KOGAN Alexander Yakovlevich,
Dr. Sci.(Eng.), Professor, Chief Researcher, Department "Tracks and track facilities", JSC "VNIIZhT"

ZAGITOV Eldar Danilovich,
Cand. Sci.(Eng.), Chief Engineer, Inspection and Diagnostics of Engineering Constructions Centre — Subsidiary of Joint Stock Company "Russian Railways" (Centre ISSO JSC "RZD"), Moscow, 127299, Russia

POLESCHYUK Irina Vasil'evna,
Cand. Sci.(Eng.), Associate Professor, Department "Railway track, machinery and equipment", ROAT MIIT

Received 29.03.2016

Revised 2.06.2016,

Accepted 1.07.2016

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства АО «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).