УДК 624.21.095.325+625.46(470.53-25)

В.С. Юшков, В.И. Кычкин

ФГБОУ ВПО «ПНИПУ»

ДИАГНОСТИКА РЕЛЬСОВОГО ПУТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Представлен анализ состояния рельсового пути движения трамвая на участках повышенного шума и вибрации конструкции вагона и подшпального основания. Показано негативное действие шума и вибрации на формирование среды городской территории и влияние этих условий на человека. Отмечены преимущества применения электротранспорта, построен график виброперемещения рельсового пути и подшпального основания в зависимости от частоты приложенной нагрузки и модуля упругости, а также виброускорения подшпального основания от времени. Предложено системное исследование на основе математической модели источников шума при движении трамвая.

Ключевые слова: диагностика, рельсовый путь, вибрация, шум, динамический процесс, математическая модель, электротранспорт, трамвай, Пермь.

Загрязнение атмосферного воздуха, шум, дорожно-транспортные происшествия, заторы на дорогах создают большие проблемы городам, так как негативно влияют на состояние городской среды, во многом определяющей уровень качества жизни горожан [1—14]. Рост уровня шума в городе резко повышает требования к функциональному взаимодействию участников движения — пешеходов и водителей автотранспортных средств (АТС) — с параметрами окружающей среды как ведущего компонента афферентного синтеза в сложном комплексе локомотивной активности.

Городской шум — один из наиболее распространенных факторов неблагоприятных условий проживания и трудовой деятельности человека. Шум большой интенсивности вызывает прогрессивные заболевания, снижает трудовую активность. Шумовое воздействие вызывает интенсификацию свободно радикального окисления в организме человека в процессах жизнедеятельности и развития многих заболеваний. Это связано со снижением эффективности антиоксидантной защиты при воздействии шума на организм и развитием хронического состояния окислительного процесса. В [3—11] приведены экспериментальные данные о зависимости показателей акустических воздействий, например, при параметрах шума 250 Гц и 80 дБ (уровень звука) и 2500 Гц и 80 дБ снижение антиоксидантной деятельности составляет соответственно 7 и 29 % от исходных значений антиоксидантной емкости. Очевидно, что психофизиологическая и динамическая устойчивость определяется характеристиками безопасности движения и уровнем комфортности городской среды. Всестороннее исследование, контроль и анализ экосистемы города, наблюдение за изменениями, происходящими под воздействием антропогенных нагрузок, позволяют оценивать качество среды и разрабатывать превентивные меры по снижению уровня негативных воздействий на человека [10].

Цели данной работы — обосновать необходимость и исследовать возможности метода виброакустической диагностики процесса движения трамвая по

участкам рельсового пути для реализации превентивных мер по снижению уровня генерирования шума за пределы допустимых норм. Фактическое состояние некомфортных участков движения трамвая показано на рис. 1.

Рис. 1. Разрушение подшпального основания

Необходимо отметить, что развитие транспортной инфраструктуры г. Перми ориентировано не только на установление новых маршрутов и оптимизацию траектории движения уже существующей сети, но и на обеспечение инженерных решений, от уровня которых зависит качество и комфортность перевозок пассажиров, усовершенствование уже существующих маршрутов. В ряде случаев на отремонтированных участках трамвайные рельсы положены по новым технологиям с использованием сварных швов, благодаря чему вагоны движутся плавно, что ведет к снижению шума.

Обеспечение снижения шума в условиях города — это системная задача, состоящая в структурировании источников шума и ранжировании их по излучаемой мощности [15, 16]. В состав этой системы как базиса входит шум городского электротранспорта. Надежность системы определяется надежностью ее компонентов. Процедура снижения шума и принципы обеспечения ее работоспособности должны быть корректно связаны с элементами системы, т.е. с принципом единичного источника шума [2, 3, 17].

В Перми разработана программа «Пермский трамвай», в рамках которой введены в эксплуатацию 45 низкопольных вагонов современной конструкции. В городе запрещено движение автомобилей по трамвайным путям. Перспективным является введение в действие скоростного трамвая. Большое значение имеет организация движения, в т.ч. и эффективное управление транспортными потоками в случаях, когда проводятся ремонтные работы на проезжей части. Это и многое другое делается для создания комфортной среды проживания населения города. На сегодняшний день подготовлена и проходит правовую экспертизу «Единая маршрутная сеть города Перми». В основу формирования маршрутной сети положен приоритет электротранспорта и сокращение числа дублирующих автобусных маршрутов. Необходимость развития электротранспорта в городе обусловлена экологической целесообразностью [18, 19].

Учет случайного характера величин и функций, определяющих возможную модель эксплуатации трамвая, представляет собой задачу оценки безопасности и экономичности всего комплекса внутригородского рельсового транспорта [20]. В этом случае анализ меры риска как вероятности недопустимого

ущерба, вызванного эксплуатацией электротранспорта, требует исходной информации на основе осуществленных и установленных фактов наблюдаемых процессов эксплуатации. Для такого рода существенных ограничений авторы рассматривают приближенную модель на основе гипотез: однородные условия; состояния грунта и подшпального основания в виде модели Винклера; удар единичного жесткого колеса для линейной системы; не учитывается работа подвески подрессоренных масс [8, 9].

Авторы исследуют возможности мониторинга и диагностики с интеллектуализацией принятия решения по оценке состояния рельсового пути и генерации шума.

Математическая модель представлена в виде дифференциального уравнения динамики движения колеса тележки трамвая по рельсовому пути по Даламберу:

$$m\ddot{y} + 2m\xi\dot{y} + ky = P_0 f(t), \quad (1)$$

где m — масса подвижной части динамической модели; ξ — коэффициент демпфирования; k — жесткость системы; P_0 — амплитуда внешней силы; $f(t)$ — функция изменения нагрузки.

Решение дифференциального уравнения (1) при синусоидальном изменении нагрузки представим в виде

$$y = \frac{P_0}{mQ} \left(\frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} \left(2\xi \cos \varphi_1 t - \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \sin \varphi_1 t \right) + \sin \theta t \right),$$

где $Q = \sqrt{(\varphi^2 - \theta^2)^2 + 4\varphi^2\theta^2}$; $\varphi_1 = \sqrt{\varphi^2 - \xi^2}$; $\varphi^2 = \frac{k}{m}$;

$k = \frac{E_0}{(1 - \mu^2)\omega\sqrt{\pi R^2}}$; $m = \pi R^2 h \rho$; $\rho = \frac{\gamma}{g}$; R — радиус пятна контакта; h — тол-

ина присоединенного слоя подшпального основания; γ — удельный вес грунта; $g = 9,8$ м/с²; μ — коэффициент Пуассона материала грунта; E_0 — модуль упругости подшпального основания.

Скорость динамического процесса запишем в форме

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial t} = V &= \frac{P_0}{mQ} \left(\frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} \left(-2\xi^2 \cos \varphi_1 t - 2\xi \varphi_1 \sin \varphi_1 t + \xi \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \times \right. \right. \\ &\times \sin \varphi_1 t - \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \cos \varphi_1 t \varphi_1 \left. \right) + \cos \theta t \theta \left. \right). \end{aligned}$$

Ускорение системы приведено в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 y}{\partial^2 t} = \frac{\partial V}{\partial t} &= \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} (-\xi) 2\xi^2 \cos \varphi_1 t + \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} 2\xi^2 (-\sin \varphi_1 t) \varphi_1 + \\ &+ \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} (-\xi) \sin \varphi_1 t + \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) (-\xi) \cos \varphi_1 t \varphi_1 - \\ &- \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} (-\xi) \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \cos \varphi_1 t \varphi_1 + \frac{P_0}{mQ} \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \times \\ &\times (-\sin \varphi_1 t) \varphi_1 + \frac{P_0}{mQ} \theta \theta (-\sin \theta t). \end{aligned}$$

Проведение численных экспериментов осуществлялось при задании параметров в виде: $P_0 = 20 \text{ кН}$; $R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $\mu = 0,28$; $\omega = 1,13 \text{ с}^{-1}$; $E_0 = 500 \text{ Н/м}^2$; $h = 0,3 \text{ м}$; $\gamma = 210 \text{ Н/м}^3$; $\theta = 5 \dots 35 \text{ с}^{-1}$.

На рис. 2 приведены результаты виброускорений подшпального основания, характеризующие инерционные нагрузки. Наибольшая инерционная нагрузка отмечается при времени 0,3 с, при этом динамические перемещения равны нулю.

На рис. 3 численный эксперимент демонстрирует значительное снижение виброперемещений рельсового пути при увеличении модуля упругости подшпального основания и частоты внешнего воздействия и приводит к уменьшению резонансной амплитуды в два раза.

Рис. 2. Виброускорения подшпального основания

Рис. 3. Виброперемещения рельсового пути и подшпального основания в зависимости от частоты приложенной нагрузки и модуля упругости

Уровень энергии шума определялся по зависимости [6, 7]

$$W = \rho c S V^2 J,$$

где ρ и c — плотности среды и скорость распространения звука в ней; S — площадь контакта; V — колебательная скорость излучающей поверхности; J — коэффициент излучения звука.

При температуре воздуха 15°C , $\rho = 1,255 \text{ кг/м}^3$, $c = 340 \text{ м/с}$, $S = 0,00012 \text{ м}^2$, $J = 0,5 \dots 0,6$, $V_{\max} = 0,0382 \text{ м/с}$ было получено значение $W = 0,0037 \dots 0,0045 \text{ Вт}$.

Были проведены измерения шума при движении трамвая по некомфортному пути на ул. Пушкина между улицами Попова и Борчанинова г. Перми. С учетом основных требований к определению шума, изложенных в отрасле-

вом стандарте ССБТ ОСТ 24.040.015—79 «Методы определения характеристик шума путевых машин», был выбран прямой участок со значительными зазорами между рельсами (до 30 мм), без наличия зданий и каких-либо других препятствий между измерительным прибором и трамваем.

Измерения проводились с помощью шумомера «ПРОФКИП SL-401» с диапазонами измерений 30...130 дБ (А), 32...130 дБ (С), 35...130 дБ (линейной) в диапазоне частот 31,5 Гц...8 кГц. Погрешность прибора составляет 0,1 дБ, рабочая температура эксплуатации — -10...+40 °С.

Внешний шум последовательно измерялся в двух точках по бокам трамвая, расположенных на расстоянии 7 м от движущегося вагона по пути 25 м на высоте от уровня рельса 1,6 м. Характеристикой внешнего шума принималось значение, усредненное по двум точкам. В каждой точке было получено семь результатов измерений, средняя величина измеряемого шума составила 86 дБ (А). Уровень городского шумового фона измерялся в отсутствии подвижного состава и был равен 54 дБ (А).

Перевод расчетных значений уровня энергии шума, дБ, был проведен по данным [12—14], и значение уровня шума составило 81 дБ, при этом разница составила 6 %.

Таким образом, представленная математическая модель позволяет получить предварительную информацию об уровне шума и вибрации движущегося по некомфортному участку рельсового пути трамвая, позволяющая установить влияние основных параметров движущейся системы на параметры генерированного шума для проведения диагностики технического состояния и принятия соответствующих решений.

Библиографический список

1. Алексеев А.О., Голубев К.В., Гуреев К.А., Харитонов В.А. Интеллектуализация технологий управления изменениями в задачах урбанистики // Вестник Поволжского государственного технического университета. Урбанистика. 2011. № 1. С. 21—42.
2. Бобин Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте. М. : Транспорт, 1973. 304 с.
3. Вафин Р.К., Найдёнов С.О. Расчет случайных колебаний нелинейных механических систем // Известия вузов. Машиностроение. 1985. № 7. С. 24—27.
4. Гельфанд С.А. Слух: введение в психологическую и физиологическую акустику / пер. с англ. М. : Медицина, 1984. 352 с.
5. Осипов Г.Л., Коробков В.Е., Климухин А.А., Прохода А.С., Карагодина И.Л., Зотов Б.С. Защита от шума в градостроительстве (Справочник проектировщика) / под ред. Г.Л. Осипова. М. : Стройиздат, 1993. 96 с.
6. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 1987. 223 с.
7. Кневец М.М. Особенности анализа сигналов вибрации на основе Вейвлет-функций // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2012. № 1. С. 26—32.
8. Кычкин В.И., Юшков В.С. Исследование деформационного состояния подпального основания методом вибрационной диагностики // Народное хозяйство. Вопросы инновационного развития. 2012. № 5. С. 111—118.
9. Кычкин В.И., Юшков В.С. Неразрушающий динамический метод контроля дорожных одежд // Наукovedenie. 2013. № 1 (14). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/34tvn113.pdf>. Дата обращения: 10.12.2014.

10. Кириленко Ю.И., Филосов В.К., Фомин В.С. Влияние оптокинетических и вестибулярных воздействий на надежность человека-оператора в системах управления летательным аппаратом // Космические исследования. 1970. Т. 8. Вып. 3. С. 476—478.
11. Кочергина К.А., Романовский В.Л. Шумовое воздействие и окислительный стресс организма // Экология и научно-технический прогресс : мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирант. и мол. уч. Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. С. 311—314.
12. Клячко Л.Н. Производственный шум и меры защиты от него в черной металлургии. М. : Металлургия, 1981. 80 с.
13. Постников В.П., Дорошенко Р.О. Обоснование необходимости развития пассажирского электротранспорта в крупном городе с точки зрения экологической эффективности // Экология и промышленность России. 2014. № 8. С. 45—48.
14. СН 2.2.4-2.1.8.562—96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М. : Минздрав России, 1997. 16 с.
15. The international road roughness experiment. Establishing correlation and a calibration standard for measurements: world bank technical paper number 45. WTP-45 / Sayers M.W., Gillespie T.D., Queiroz C.A.V. The World Bank. Manufactured in the USA. 1986. 453 p.
16. Stohe D.H., Marich S., Rimnac C.M. Deformation behavior of rail steels // Transp. Res. Rec. 1980. No. 744. Pp. 16—21.
17. Rice J.R., Rosengren J.F. Plane strain deformation near a crack tip in a power law hardening material // Journal of the Mechanics and physics of Solids. 1968. Vol. 16. No. 1. Pp. 1—12.
18. Трофимов Н.А. Защита от вибрации и шума в промышленности. Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 1999. 144 с.
19. Шубов И.Г. Шум и вибрация электрических машин. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 208 с.
20. Sun C.T., Huand S.N. Transverse impact problems by highez order beam finite element // Computers and Structures. 1975. Vol. V.S. Pp. 287—303.

Поступила в редакцию в декабре 2014 г.

Об авторах: **Юшков Владимир Сергеевич** — старший преподаватель кафедры автомобилей и технологических машин, аспирант кафедры автомобильных дорог и мостов, **Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ФГБОУ ВПО «ПНИПУ»)**, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29 а, 8 (342) 239-16-54, vova_84_07@mail.ru;

Кычкин Владимир Иванович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и технологических машин, **Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ФГБОУ ВПО «ПНИПУ»)**, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29 а, 8 (342) 239-16-54, vova_84_07@mail.ru.

Для цитирования: *Юшков В.С., Кычкин В.И. Диагностика рельсового пути электротранспорта // Вестник МГСУ. 2015. № 1. С. 36—43.*

V.S. Yushkov, V.I. Kychkin

RAILWAY DIAGNOSIS OF ELECTRIC TRANSPORT

The increase in noise level at cities is increasing the requirements to functional interaction of road users — pedestrians and drivers — with the parameters of the envi-

ronment as a leading component of Affereotation synthesis in the complicated complex of locomotive activity.

City noise is one of the most widespread factors of unfavorable living and working conditions. The noise of high intensity provokes diseases, lowers labor activity.

At present, many large cities pay much attention to electric vehicles. The authors present an analysis of the poor state of tram track in areas of high noise and vibration of car and under-sleeper base design. A negative effect of noise and vibration on the formation of urban areas environment is shown as well as the impact of these conditions on the person. The advantages of the application of electric transport are specified, noise displacement curve of railway and under sleeper base is plotted depending on the frequency of the applied load and the modulus of elasticity, as well as under sleeper base vibroacceleration depending on time. The authors offer a systematic study on the basis of a mathematical model of the sources of noise in the process of a tram motion.

Key words: diagnosis, railway, vibration, noise, dynamic process, mathematical model, electric transport, tram, Perm.

References

1. Alekseev A.O., Golubev K.V., Gureev K.A., Kharitonov V.A. Intellekualizatsiya tekhnologiy upravleniya izmeneniyami v zadachakh urbanistiki [Intellectualization of Change Management in Urban Development Problems]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Urbanistika* [Proceedings of Volga State University of Technology. Urban Development]. 2011, no. 1, pp. 21—42. (In Russian)
2. Bobin E.V. *Bor'ba s shumom i vibratsiyey na zheleznodorozhnom transporte* [Fighting Noise and Vibration in Rail Transport]. Moscow, Transport Publ., 1973, 304 p. (In Russian)
3. Vafin R.K., Naydenov S.O. Raschet sluchaynykh kolebaniy nelineynykh mekhanicheskikh sistem [Calculation of Random Vibrations of Nonlinear Mechanical Systems]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 1985, no. 7, pp. 24—27. (In Russian)
4. Gelfand S.A. Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics. CRC Press; 5 edition, 2009, 312 p.
5. Osipov G.L., Korobkov V.E., Klimukhin A.A., Prokhoda A.S., Karagodina I.L., Zotov B.S. *Zashchita ot shuma v gradostroitel'stve (Spravochnik proektirovshchika)* [Protection Against Noise in Urban Planning (Reference Book of a Designer)]. G.L. Osipov, editor. Moscow, Stroyizdat Publ., 1993, 96 p. (In Russian)
6. Ivanov N.I. *Bor'ba s shumom i vibratsiyami na putevykh i stroitel'nykh mashinakh* [Fighting Noise and Vibration in Track and Construction Machines]. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, Transport Publ., 1987, 223 p. (In Russian)
7. Knevets M.M. Osobennosti analiza signalov vibratsii na osnove Veyvlet-funktsiy [Features of Vibration Signals Analysis on the Basis of Wavelet Functions]. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita* [Machine Vibrations: Measurement, Lowering, Defense]. 2012, no. 1, pp. 26—32. (In Russian)
8. Kychkin V.I., Yushkov V.S. Issledovanie deformatsionnogo sostoyaniya podshpal'nogo osnovaniya metodom vibratsionnoy diagnostiki [The Study of the Deformation State of Under Sleeper Base by Vibration Diagnostics Method]. *Narodnoe khozyaystvo. Voprosy innovatsionnogo razvitiya* [National Economy. Questions Innovational Development]. 2012, no. 5, pp. 111—118. (In Russian)
9. Kychkin V.I., Yushkov V.S. Nerazrushayushchiy dinamicheskiy metod kontrolya dorozhnykh odezhd [Non-Destructive Dynamic Method to Control Road Pavement]. *Naukovedenie* [On-line Journal "Naukovedenie"]. 2013, no. 1 (14). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/34tvn113.pdf>. Date of access: 10.12.2014. (In Russian)
10. Kirilenko Yu.I., Filosov V.K., Fomin V.S. Vliyanie optokineticheskikh i ves-tibulyarnykh vozdeystviy na nadezhnost' cheloveka-operatora v sistemakh upravleniya letatel'nykh apparatami [Influence of Optokinetic and Vestibular Impacts on The Reliability of the Human Operator in Control Systems for Aircraft]. *Kosmicheskie issledovaniya* [Space Investigations]. 1970, vol. 8, no. 3, pp. 476—478. (In Russian)

11. Kochergina K.A., Romanovskiy V.L. Shumovoe vozdeystvie i oksidantnyy stress organizma [Noise Influence and Oxidative Stress of an Organism]. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskiy progress : materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Ecology and Scientific and Technical Progress: Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists]. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 2007, pp. 311—314. (In Russian)
12. Klyachko L.N. *Proizvodstvennyy shum i mery zashchity ot nego v chernoy metallurgii* [Industrial Noise and Means of Protection From it in the Steel Industry]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1981, 80 p. (In Russian)
13. Postnikov V.P., Doroshenko R.O. Obosnovanie neobkhodimosti razvitiya passazhirskogo elektrotransporta v krupnom gorode s tochki zreniya ekologicheskoy effektivnosti [Necessity Rationale for the Development of Electric Passenger Transport in a Big City in Terms of Eco-Efficiency]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2014, no. 8, pp. 45—48. (In Russian)
14. SN 2.2.4-2.1.8.562—96. *Shum na rabochnikkh mestakh, v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki* [Requirements SN 2.2.4-2.1.8.562—96. Noise in the Workplace, in Residential and Public Buildings and in Residential Areas]. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 1997, 16 p. (In Russian)
15. Sayers M.W., Gillespie T.D., Queiroz C.A.V. The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements: World Bank Technical Paper Number 45. WTP-45. The World Bank. Manufactured in the USA. 1986, 453 p.
16. Stohe D.H., Marich S., Rimnac C.M. Deformation Behavior of Rail Steels. *Transp. Res. Rec.* 1980, no. 744, pp. 16—21.
17. Rice J.R., Rosengren J.F. Plane Strain Deformation near a Crack Tip in a Power Law Hardening Material. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 1968, vol. 16, no. 1, pp. 1—12. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096\(68\)90013-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096(68)90013-6).
18. Trofimov N.A. *Zashchita ot vibratsii i shuma v promyshlennosti* [Protection from Vibrations and Noise in Industry]. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 1999, 144 p. (In Russian)
19. Shubov I.G. *Shum i vibratsiya elektricheskikh mashin* [Noise and Vibration of Electric Cars]. 2nd edition, revised and enlarged. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1986, 208 p. (In Russian)
20. Sun C.T., Huand S.N. Transverse Impact Problems by Higher Order Beam Finite Element. *Computers and Structures*. 1975, vol. 5, no. 5—6, pp. 297—303.

About the author: **Yushkov Vladimir Sergeevich** — Senior Lecturer, Department of Automobiles and Technological Machines, postgraduate student, Department of Automobile Roads and Bridges, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 a Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; +7 (342) 239-16-54; vova_84_07@mail.ru;

Kychkin Vladimir Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 a Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; +7 (342) 239-16-54; vova_84_07@mail.ru.

For citation: Yushkov V.S., Kychkin V.I. Diagnostika rel'sovogo puti elektrotransporta [Railway Diagnosis of Electric Transport]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 1, pp. 36—43. (In Russian)