

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ЗЕМЛЯНЫХ НАСЫПЕЙ АВТОДОРОГ

С.В. Савельев

saveliev_sergval@mail.ru

И.К. Потеряев

poteryaev_ik@mail.ru

Б.А. Раздобарин

boris_trd@mail.ru

ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Российская Федерация

Аннотация

Развитие транспортной инфраструктуры — это важный фактор обеспечения связанности экономического пространства любой страны и устойчивого развития территорий. В России с ее огромными территориями необходимо существенно расширять сеть автодорог. Строительство дорожных объектов требует применения большого числа специализированной техники, от эффективности и производительности которой зависят темпы строительства и качество выполняемых работ. Рассмотрено повышение производительности дорожных катков при уплотнении земляных насыпей автомобильных дорог. Разработан ряд перспективных конструкций дорожных катков, защищенных патентами и авторскими свидетельствами России. Для любых новых разработок необходимо теоретическое обоснование и практическое подтверждение их работоспособности и соответствия заявленным техническим характеристикам. Проведено сравнение экспериментальных образцов рабочих органов катков, разработанных в ФГБОУ ВО «СибАДИ», и серийно выпускаемого вибрационного катка ДУ-107, в части исследования изменения коэффициента уплотнения от числа проходов катка по одному следу. Как в теоретических, так и в экспериментальных исследованиях рассмотрено уплотнение суглинистого грунта. Приведены аналитические выкладки по определению режимов работы и производительности дорожных катков. Для вибрационных катков, в том числе и вибрационных катков на пневмошинах, выявлены рациональная скорость, толщина уплотняемого слоя, число проходов по одному следу.

Ключевые слова

Каток, уплотнение, производительность, грунт, вибрация

Доказано, что новая предлагаемая конструкция вибрационного пневмошинного катка достаточно эффективна при устройстве земляного полотна автомобильной дороги. Применение новых конструкций дорожных катков позволит повысить темп и производительность работ при строительстве транспортной инфраструктуры

Поступила 02.10.2023

Принята 30.01.2024

© Автор(ы), 2024

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Омской области (научный грант № 23-29-10010 «Разработка дорожных катков для повышения эффективности транспортного строительства с учетом региональных условий Омской области»)

Введение. С помощью дорожных катков выполняют одну из самых ответственных технологических операций при строительстве автомобильных дорог — уплотнение дорожно-строительных материалов. Именно эта операция обеспечивает работоспособность и прочность всех конструктивных элементов автодороги. Дорожный каток является машиной, влияющей на темп и производительность специализированного строительного комплекса машин, т. е. на общую производительность дорожных работ [1, 2], поэтому повышение его производительности представляет собой актуальную и важную задачу.

В ФГБОУ ВО «СибАДИ» разработан ряд конструкций перспективных дорожных катков, в которых использованы преимущества применения пневмошин и вибрации [3–5]. Для новых конструкций уплотняющей техники разработаны экспериментальные образцы рабочих органов и проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования [6, 7].

Одной из задач исследования является подтверждение высоких эксплуатационных характеристик катков с новыми рабочими органами по сравнению с характеристиками серийно выпускаемых катков, в частности с тротуарным вибрационным катком ДУ-107. Массогабаритные характеристики катков выбраны примерно одинаковыми. Рассмотрено уплотнение суглинистого грунта. Проведено сравнение результатов экспериментальных исследований (рис. 1) и математического моделирования. В результате анализа полученных данных выявлено, что расхождение данных составляет не более 14 % (рис. 2), что является доказательством адекватности математической модели. Исследованы различные частотные режимы работы катков (рис. 3) с учетом изменения физико-механических свойств уплотняемого грунта (суглинок) на разных этапах укатки.



Рис. 1. Характерные фрагменты экспериментальных исследований

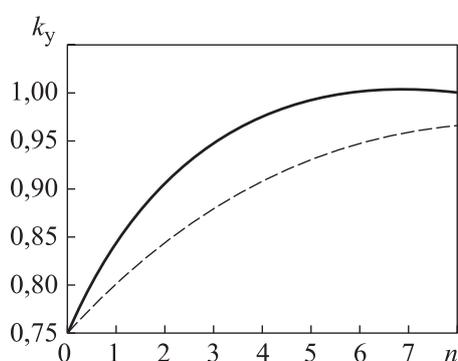


Рис. 2. Сравнение результатов теоретических (—) и натуральных (---) исследований

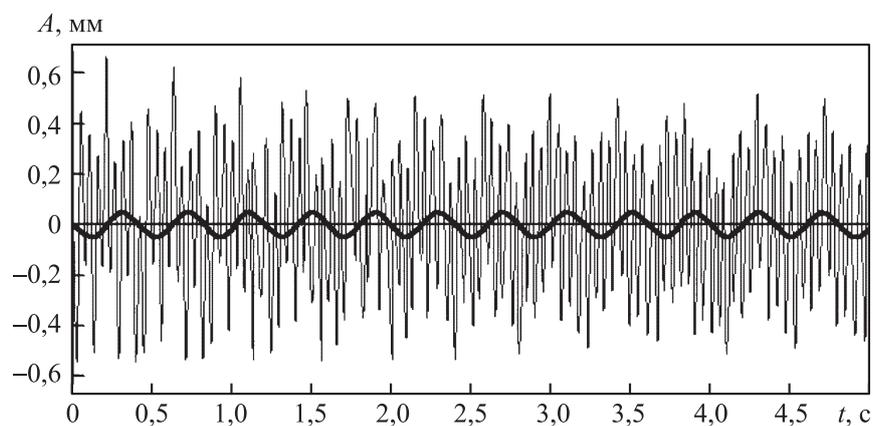


Рис. 3. Результаты исследования уплотнения грунта катком ДУ-107

Проведены исследования рациональных скоростных режимов работы катков. Рациональная скорость вибрационного катка напрямую связана с физико-механическими характеристиками уплотняемого грунта, в первую очередь с модулем деформации и плотностью [8–11]. Очевидно,

что при начальной плотности грунт деформируется с максимальной интенсивностью, поэтому скорость катка в начале процесса уплотнения может быть достаточно высокой. Вибрация не требуется. В конце процесса уплотнения, когда грунт набрал плотность и прочность, процесс деформации протекает с большим сопротивлением, скорость вибрационного катка необходимо снижать и использовать эффект динамического уплотнения в силу работы вибровозбудителя [1, 8, 9].

Запишем выражение для определения времени контактирования вальца катка с уплотняемой поверхностью:

$$t_k = \frac{a}{v_y}, \quad (1)$$

где a — длина части вальца, контактирующей с грунтом; v_y — скорость вибрационного катка;

$$t_k = t_y. \quad (2)$$

Тогда поступательная скорость катка

$$v_k = \frac{a}{t_y}. \quad (3)$$

Как упомянуто ранее, скорость движения вибрационного катка зависит от характеристик грунта, в том числе от толщины уплотняемого слоя и текущей плотности, которая характеризуется коэффициентом уплотнения k_y . В результате анализа работ по уплотнению грунтовых сред [1, 8–10, 12, 13] запишем выражение для определения толщины уплотняемого слоя грунта:

$$h = 1,0 \frac{W}{W_0} \left(1 - e^{-2,5 \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p} \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{\max}}}} \right), \quad (4)$$

где W — текущая влажность грунта; W_0 — оптимальная влажность грунта; σ_{\max} — максимальное значение контактного давления; σ_p — предел прочности грунта; Q — сила тяжести вибрационного катка.

Пневмошинный каток выгодно отличается от металлического тем, что способен деформироваться и изменять значение контактных давлений, это происходит вследствие изменения давления в шинах и их деформирования [14–17]. В соответствии с проведенными расчетами активная толщина обрабатываемого слоя составляет 30...35 см.

Используя выражения, связывающие толщину (h) уплотняемого слоя грунта и определенные характеристики вибрационного катка, вычисляем рациональную скорость (v_k), эксплуатационную производительность ($\Pi_{\text{экс}}$) и число проходов катка (n) по одному следу (таблица).

Параметры вибрационного пневмошинного катка

k_y	v_k , м/с	n	h , м	Число бандажей на пневмошине N , шт.	Давление P_w , МПа	Частота колебаний вала f , Гц	Амплитуда колебаний A , мм	Вибрация
0,80–0,87	0,4	4	0,30	8	0,4	–	–	Отсутствует
0,87–0,90	0,6	2	0,27	8	0,5	–	–	
0,90–0,92	0,6	1	0,26	8	0,6	24	2,8	Включена
0,92–0,96	0,6	3	0,25	10	0,6	37	1,0	
0,96–1,00	0,6	4	0,25	12	0,6	50	0,5	

Эксплуатационная производительность вибрационного катка [18–20]

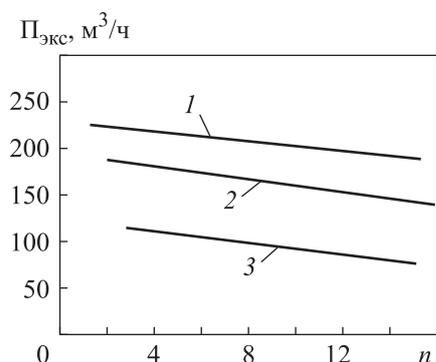
$$\Pi_{\text{экс}} = \frac{L(B - S_{\text{п}})H_0k_{\text{в}}}{\left(\frac{L}{v} + t\right)n}, \quad (5)$$

где L — длина захватки; B — ширина вальцов; $S_{\text{п}} = 0,2$ м — значение перекрытия следа катка при последующем проходе; H_0 — рациональная толщина уплотняемого слоя; $k_{\text{в}} = 0,85$ — коэффициент использования машины (по времени); v — скорость движения уплотнителя; $t = 0,02$ ч — время на разворот катка.

Выгодным преимуществом предлагаемой конструкции уплотняющей машины являются регулирование контактных давлений и эффективное использование вибрации. Для таких катков возможна большая глубина проработки уплотняемого слоя, что напрямую влияет на увеличение производительности вибрационного катка.

Рассматривая длину технологической захватки $L = 200$ м с учетом характеристик катка, приведенных в таблице, рассчитаем производительность для разных типов дорожных катков (рис. 4): 92...140 м³/ч — для пневмошинного катка; 120...220 и 197...244 м³/ч — для вибрационного катка с металлическим и пневмошинным вальцом.

Рис. 4. Производительность пневмошинного (1), вибрационных гладковальцового (2) и статического пневмошинного (3) катков с учетом числа проходов катка по одному следу



Заключение. Проведены исследования по обоснованию рациональных параметров пневмошинного вибрационного катка новой конструкции. Выполнены сравнительный анализ нового дорожного катка и серийно выпускаемого вибрационного катка ДУ-107, а также расчет производительности дорожных катков. Показано, что производительность дорожного катка новой конструкции выше, чем вибрационного катка ДУ-107 и существенно превышает производительность статических пневмошинных катков.

Очевидно, что использование новой конструкции дорожного катка при устройстве земляного полотна автомобильной дороги увеличит темп и производительность работ, что особенно важно для климатических условий Сибири с коротким строительным сезоном.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Костельов М.П. Опять о качестве и эффективности уплотнения различных грунтов современными виброкатками. В кн.: *Дорожная техника: каталог-справочник*. СПб., Славутич, 2008, с. 40–47.
- [2] Тюремнов И.С., Фурманов Д.В. Экспериментальные исследования напряжений в грунте при воздействии вибрационного катка. *Проблемы машиноведения. Матер. IV Междунар. науч.-техн. конф.* Омск, ОмГТУ, 2020, с. 129–137. EDN: WHLMOO
- [3] Савельев С.В., Михеев В.В. Гидрошина вибрационного катка. Патент РФ 184799. Заявл. 06.06.2018, опубл. 09.11.2018.
- [4] Михеев В.В., Савельев С.В., Демиденко А.И. Валец дорожного катка. Патент РФ 2522364. Заявл. 20.02.2013, опубл. 10.07.2014.
- [5] Савельев С.В., Лашко А.Г. Валец дорожного катка. Патент РФ 93090. Заявл. 14.12.2009, опубл. 20.04.2010.
- [6] Савельев С.В., Бурый Г.Г. Исследования вибрационных процессов в деформируемой грунтовой среде при виброуплотнении. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2021, № 2, с. 5–9. DOI: <https://dx.doi.org/10.26730/1999-4125-2021-2-5-9>

- [7] Савельев С.В., Потеряев И.К. Исследования эффективности уплотняющей техники для строительства автомобильных дорог. *Строительные и дорожные машины*, 2021, № 2, с. 44–48. EDN: ZVDITТ
- [8] Дубровин А.Е., Серов К.П. Методика выбора основных параметров пневмовиброкатка. *Исследования параметров и расчеты дорожно-строительных машин*, 1970, № 44, с. 47–50.
- [9] Дубков В.В., Сокирко С.А. Определение параметров пневмошинного катка с осцилляторным-вибрационным механизмом. *Техника и технологии строительства*, 2019, № 4, с. 15–21. EDN: FFFLYZ
- [10] Шишкин Е.А., Иванченко С.Н., Сидорков В.В. и др. Исследование взаимосвязи конструктивных и технологических параметров вибрационных и осцилляционных катков. *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*, 2021, № 2, с. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2021-07-02-184-189>
- [11] Mooney M.A., Rinehart R.V., Facas N.W., et al. Intelligent soil compaction systems. *NCHRP*, Report 676. Washington, 2010.
- [12] Rinehart R.V., Mooney M.A. Instrumentation of a roller compactor to monitor vibration behavior during earthwork compaction. *Autom. Constr.*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 144–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.12.006>
- [13] Анфимов В.А. Исследование комплексного уплотнения грунтов машинами на пневматических шинах. Дис. ... канд. техн. наук. Харьков, ХАДИ, 1970.
- [14] Мелибаев М., Нишонов Ф., Расулов Р.Х. и др. Напряженно-деформированное состояние шины и загруженность ее элементов. *Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое, будущее. Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф.* Курск, ЮЗГУ, 2019, с. 120–124. EDN: OFOSTW
- [15] Норбаева Д.В. Влияние вертикальной нагрузки на удельное давление пневматической шины. *Техника и технологии: пути инновационного развития. Сб. науч. тр. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2.* Курск, ЮЗГУ, 2019, с. 35–37. EDN: VANBGY
- [16] Речицкий С.В., Речицкий А.С. Механика деформируемой обечайки вальца дорожного катка при уплотнении дорожных материалов. *Фундаментальные основы механики*, 2022, № 10, с. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.26160/2542-0127-2022-10-56-60>
- [17] Копотилов В.И. Проблемы качения колеса с пневматической шиной. Барнаул, ИП Колмогоров И.А., 2020.
- [18] Савельев С.В. Перспективные пути развития уплотняющей техники. *Строительные и дорожные машины*, 2005, № 7, с. 24–25.
- [19] Мандровский К.П. Основы методологии мониторинга технико-экономической эффективности дорожно-строительных машин. М., МАДИ, 2022.
- [20] Тюремнов И.С., Ефимов С.С. Моделирование взаимодействия виброплиты с поверхностью грунта. *Вестник ПНИПУ. Механика*, 2022, № 4, с. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2022.4.04>

Савельев Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, д. 5).

Потеряев Илья Константинович — канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, д. 5).

Раздобарин Борис Алексеевич — аспирант кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Савельев С.В., Потеряев И.К., Раздобарин Б.А. Производительность дорожных катков при уплотнении земляных насыпей автодорог. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2024, № 3 (150), с. 90–100. EDN: SBIATO

**ROAD ROLLER PERFORMANCE IN THE HIGHWAY
EARTH EMBANKMENT COMPACTING**

S.V. Savelyev

I.K. Poteryaev

B.A. Razdobarin

saveliev_sergval@mail.ru

poteryaev_ik@mail.ru

boris_trd@mail.ru

FSBEI HE “SibADI”, Omsk, Russian Federation

Abstract

Transport infrastructure improvement is an important factor in development of any country. Russian Federation with its vast territories requires significant expansion of the highway network. Highway facilities construction needs the use of a large number of specialized equipment, which efficiency and performance determine the construction pace and the quality of work performed. The paper considers increasing the road roller performance in the highway earth embankment compacting. It presents a number of promising designs of the road rollers protected by patents and authors certificates of the Russian Federation. Any new development requires theoretical justification and practical confirmation of its operability and compliance with the declared technical characteristics. Experimental samples of the roller working bodies developed in FSBEI HE “SibADI” are compared with those installed on the serially produced DU-107 vibration roller

Keywords

Roller, compaction, performance, soil, vibration

to study alteration in the compaction coefficient depending on the number of roller passes along one track. Both theoretical and experimental studies consider the loamy soil compaction. Analytical computation is provided to determine the road roller operation modes and performance. Rational speed, compacted layer thickness and number of passes along one track are identified for the vibration rollers, including vibration rollers on the pneumatic tires. The new proposed design of a pneumatic vibratory roller proves its sufficient efficiency in the highway roadbed construction. Introduction of the road roller new designs would make it possible to increase pace and productivity of work during construction of the transport infrastructure

Received 02.10.2023

Accepted 30.01.2024

© Author(s), 2024

The work was supported by the Russian Science Foundation and the Government of the Omsk Region (scientific grant no. 23-29-10010 “Development of the road rollers to improve the transport infrastructure construction efficiency taking into account regional conditions in the Omsk Region”)

REFERENCES

- [1] Kostelov M.P. Opyat o kachestve i effektivnosti uplotneniya razlichnykh gruntov sovremennymi vibrokatkami [Again on the quality and efficiency of compaction of various soils by modern vibratory rollers]. *V kn.: Dorozhnaya tekhnika: katalog-spravochnik* [In: Road machinery: catalogue-reference book]. St.-Petersburg, Slavutich Publ., 2008, pp. 40–47 (in Russ.).
- [2] Tyuremnov I.S., Furmanov D.V. [Experimental investigations of stresses in a soil under the influence of a vibrating roller]. *Problemy mashinovedeniya. Mater. IV Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Proc. IV Int. Sc. Conf. Mechanical Science and Technology Update]. Omsk, OmSTU Publ., 2020, pp. 129–137 (in Russ.). EDN: WHLMOO
- [3] Savelyev S.V., Mikheev V.V. Gidroshina vibratsionnogo katka [Hydraulic vibration roller]. Patent RU 184799. Appl. 06.06.2018, publ. 09.11.2018 (in Russ.).
- [4] Mikheev V.V., Savelyev S.V., Demidenko A.I. Valets dorozhnogo katka [Road-roller roll]. Patent RU 2522364. Appl. 20.02.2013, publ. 10.07.2014 (in Russ.).
- [5] Savelyev S.V., Lashko A.G. Valets dorozhnogo katka [Roller roller]. Patent RU 93090. Appl. 14.12.2009, publ. 20.04.2010 (in Russ.).
- [6] Savelyev S.V., Buryy G.G. Experemental researches of “active area” of the deformable environment at vibrating consolidation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2021, no. 2, pp. 5–9 (in Russ.). DOI: <https://dx.doi.org/10.26730/1999-4125-2021-2-5-9>
- [7] Savelyev S.V., Poteryaev I.K. Determination of parameters of pneumatic bus roller with ostsillyatornym-vibratsionnym mechanism. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2021, no. 2, pp. 44–48 (in Russ.). EDN: ZVDITT

- [8] Dubrovin A.E., Serov K.P. Methodology for selecting the main parameters of pneumatic vibratory roller. *Issledovaniya parametrov i raschety dorozhno-stroitelnykh mashin*, 1970, no. 44, pp. 47–50 (in Russ.).
- [9] Dubkov V.V., Sokirko S.A. Determination of parameters of pneumatic bus roller with ostsillyatornym-vibratsionnym mechanism. *Tekhnika i tekhnologii stroitelstva*, 2019, no. 4, pp. 15–21 (in Russ.). EDN: FFFLYZ
- [10] Shishkin E.A., Ivanchenko S.N., Sidorkov V.V., et al. Investigation of the relationship between the design and technological parameters of vibration and oscillating rollers. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, no. 2, pp. 184–189 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2021-07-02-184-189>
- [11] Mooney M.A., Rinehart R.V., Facas N.W., et al. Intelligent soil compaction systems. *NCHRP*, Report 676. Washington, 2010.
- [12] Rinehart R.V., Mooney M.A. Instrumentation of a roller compactor to monitor vibration behavior during earthwork compaction. *Autom. Constr.*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 144–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.12.006>
- [13] Anfimov V.A. Issledovanie kompleksnogo uplotneniya gruntov mashinami na pnevmaticheskikh shinakh. Dis. kand. tekhn. nauk [Research of complex soil compaction by machines on pneumatic tyres. Cand. Sc. (Eng.). Diss.]. Kharkov, KhADI, 1970 (in Russ.).
- [14] Melibaev M., Nishonov F., Rasulov R.Kh., et al. [Stress-strain state of a tyre and loading of its elements]. *Avtomobili, transportnye sistemy i protsessy: nastoyashchee, proshloe, budushchee. Sb. st. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Automobiles, Transport Systems and Processes: Present, Past, Future. Proc. Int. Sc.-Tech. Conf.]. Kursk, YuZGU Publ., 2019, pp. 120–124 (in Russ.). EDN: OFOSTW
- [15] Norbaeva D.V. [Influence of vertical load on specific pressure of a pneumatic tyre]. *Tekhnika i tekhnologii: puti innovatsionnogo razvitiya. Sb. nauch. tr. 8-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. T. 2* [Technics and Technologies: Ways of Innovative Development. Proc. 8th Int. Sc.-Pract. Conf. Vol. 2]. Kursk, YuZGU, 2019, pp. 35–37 (in Russ.). EDN: VANBGY
- [16] Rechitskiy S.V., Rechitskiy A.S. Mechanics of the deformable shell of the roller roller when compacting road materials. *Fundamentalnye osnovy mekhaniki*, 2022, no. 10, pp. 56–60 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26160/2542-0127-2022-10-56-60>
- [17] Kopotilov V.I. Problemy kacheniya koleasa s pnevmaticheskoy shinoy [Rolling problems of a pneumatic tire wheel]. Barnaul, IP Kolmogorov I.A. Publ., 2020.
- [18] Savelyev S.V. Promising ways of developing sealing technology. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2005, no. 7, pp. 24–25 (in Russ.).
- [19] Mandrovskiy K.P. Osnovy metodologii monitoringa tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti dorozhno-stroitelnykh mashin [Basics of methodology for monitoring technical and economic efficiency of road construction machines]. Moscow, MADI Publ., 2022.
- [20] Tyuremnov I.S., Efimov S.S. Simulation of vibratory plate interaction with the ground surface. *Vestnik PNIPU. Mekhanika* [PNRPU Mechanics Bulletin], 2022, no. 4, pp. 30–41 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2022.4.04>

Savelyev S.V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Oil and Gas and Construction Equipment Operation, FSBEI HE “SibADI” (Mira prospekt 5, Omsk, 644080 Russian Federation).

Poteryayev I.K. — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Department of Oil and Gas and Construction Equipment Operation, FSBEI HE “SibADI” (Mira prospekt 5, Omsk, 644080 Russian Federation).

Razdobarin B.A. — Post-Graduate Student, Department of Oil and Gas and Construction Equipment Operation, FSBEI HE “SibADI” (Mira prospekt 5, Omsk, 644080 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Savelyev S.V., Poteryayev I.K., Razdobarin B.A. Road roller performance in the highway earth embankment compacting. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2024, no. 3 (150), pp. 90–100 (in Russ.).

EDN: SBIATO