

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Е.А. Шишкин

004655@pnu.edu.ru

ФГБОУ ВО «ТОГУ», г. Хабаровск, Российская Федерация

Аннотация

Геометрия рабочего органа гладковальцового статического катка обуславливает высокую скорость и малое время приложения нагрузки к уплотняемому материалу, такой режим нагружения горячей асфальтобетонной смеси приводит к возникновению высокого динамического сопротивления деформации и, как следствие, к снижению эффективности уплотнения. Каток НІРАС имеет большую плоскую контактную площадку с уплотняемым материалом, которая обеспечивает высокую продолжительность приложения нагрузки. Давление, действующее на слой асфальтобетонной смеси, сравнительно невелико, и это может стать фактором низкой эффективности. Выполнено сравнение значений пластических деформаций, возникающих при уплотнении асфальтобетонной смеси как статическим гладковальцовым катком, так и катком НІРАС. Приведены реологическая модель слоя асфальтобетонной смеси и закон поведения вязкого элемента модели, отражающего пластические свойства уплотняемого материала. С учетом геометрии рабочих органов получены уравнения изменения контактного давления под гладким вальцом и лентой катка НІРАС. Приведены аналитические выражения для определения пластических деформаций, возникающих при уплотнении асфальтобетонной смеси гладковальцовым катком и катком НІРАС. Установлено, что пластическая деформация от катка НІРАС более чем в 1,3 раза превышает пластическую деформацию от гладковальцового катка. Доказано, что каток НІРАС эффективнее гладковальцового катка при уплотнении асфальтобетонных смесей. Использование катка НІРАС для уплотнения асфальтобетонной смеси позволит достичь требуемой плотности материала за меньшее число проходов

Ключевые слова

Асфальтобетонная смесь, пластические деформации, реологическая модель, инновационная технология уплотнения, эффективность

Поступила 08.05.2024

Принята 23.05.2024

© Автор(ы), 2025

Введение. Уплотнение асфальтобетонной смеси — один из наиболее важных факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики асфальтобетонного покрытия [1, 2]. Силы, развиваемые в процессе уплотнения гладковальцовыми статическими катками, отличаются большой интенсивностью, но прикладываются и удерживаются в течение короткого периода времени, составляющего доли секунды, вследствие небольшой площади контакта (длина дуги контакта составляет 7...15 см [3]). Горячая асфальтобетонная смесь проявляет вязкоупругопластические свойства [4]. Поэтому нагрузки, прикладываемые к таким материалам быстро и на короткое время, вызывают их высокое динамическое сопротивление деформации в целом, в том числе пластической [5]. Кроме того, небольшая изогнутая площадь контакта гладкого вальца со слоем асфальтобетонной смеси обуславливает возникновение в месте контакта тангенциальной составляющей приложенной силы (рис. 1), которая вместо пластической деформации слоя приводит к диссипации части энергии уплотнения [6, 7]. В таких условиях асфальтобетонная смесь уплотняется неэффективно.

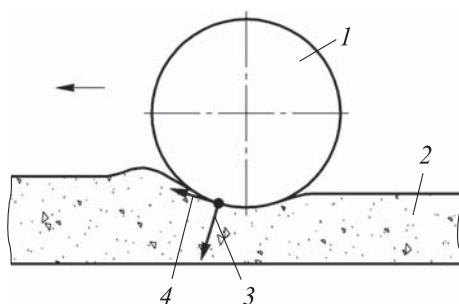


Рис. 1. Схема сил, возникающих в зоне контакта гладкого вальца со слоем асфальтобетонной смеси: 1 — гладкий валец; 2 — слой асфальтобетонной смеси; 3, 4 — радиальная и тангенциальная составляющие контактной силы

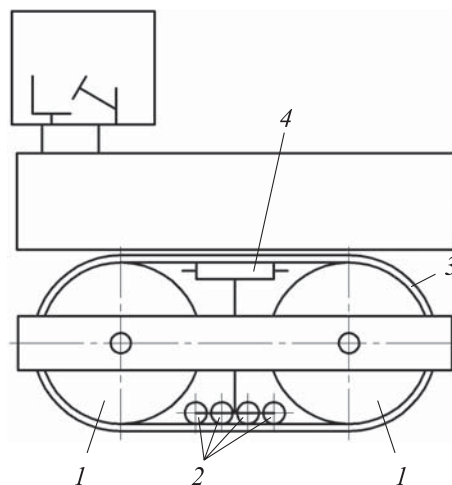
Разработана инновационная технология уплотнения¹, реализованная в уплотняющем оборудовании AMIR (Asphalt Multi-Integrated Roller — асфальтовый многофункциональный каток) [8]. Схема уплотняющего оборудования AMIR приведена на рис. 2.

Технология, реализованная в AMIR, основана на приложении к уплотняемому слою асфальтобетонной смеси малого давления в течение длительного периода времени [9], что обеспечивает вязкопластичное течение материала. Кроме того, большая площадь контакта ленты с материалом минимизирует горизонтальные силы и, следовательно, препятствует выталкиванию рабочего органа [10].

¹ Совместная разработка Карлтонского университета (г. Оттава) с Национальным исследовательским советом Канады.

Рис. 2. Схема уплотняющего оборудования AMIR:

1, 2 — основные и малые вальцы;
3 — лента; 4 — устройство натяжения ленты



Компанией Pioneer Road Services (Австралия) на основе AMIR создан каток HIPAC (Hot-Iron Process Asphalt Compaction — уплотнение асфальта методом проглаживания), отличающийся от предшественника наличием двух лент и высокой маневренностью (рис. 3) [11]. Каток HIPAC, в отличие от гладковальцового статического катка, имеет единую плоскую контактную площадку с уплотняемым материалом, образованную с помощью многослойной ленты из специальных резиновых смесей [12]. Вследствие большой площади контакта (3 м^2) давление, действующее на слой асфальтобетонной смеси, относительно невелико, однако продолжительность силового воздействия значительно возрастает по сравнению с обычными катками [13].



Рис. 3. Каток HIPAC

Эффективность уплотняющего оборудования можно оценить по значениям пластических деформаций уплотняемого материала [14].

Цель настоящей работы — сравнительный анализ пластических деформаций слоя асфальтобетонной смеси при его уплотнении катком HIPAC, в котором использована инновационная технология, и гладковальцовым статическим катком.

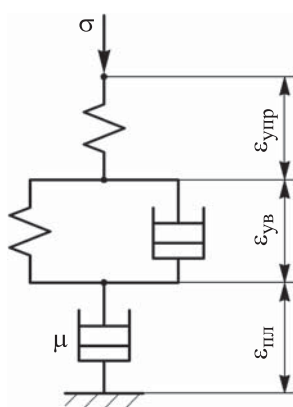


Рис. 4. Реологическая модель Бюргера слоя асфальтобетонной смеси:

$\varepsilon_{упр}$, $\varepsilon_{ув}$, $\varepsilon_{пл}$ — упругая, упруговязкая и пластическая деформации соответственно

Материалы и методы. Для моделирования поведения слоя асфальтобетонной смеси под нагрузкой принята реологическая модель Бюргера (рис. 4), наиболее точно отражающая вязкоупругопластические свойства горячей асфальтобетонной смеси [15, 16].

В модели Бюргера пластические деформации представлены вязким элементом Ньютона. Дифференциальное уравнение, описывающее поведение этого элемента, имеет вид [17]:

$$\sigma = \mu \varepsilon'_{пл}, \quad (1)$$

где σ — давление; μ — коэффициент вязкости; $\varepsilon'_{пл}$ — скорость пластической деформации.

Общее решение уравнения (1) для пластических деформаций следующее:

$$\varepsilon_{пл} = \frac{1}{\mu} \int \sigma dt + C, \quad (2)$$

где C — константа интегрирования.

Вследствие цилиндрической поверхности контактной площадки при уплотнении гладковальцовый каток создает импульс давления по форме, близкой к параболе [18, 19]. В связи с этим именно параболу принимаем в качестве кривой изменения контактного давления (рис. 5, а).

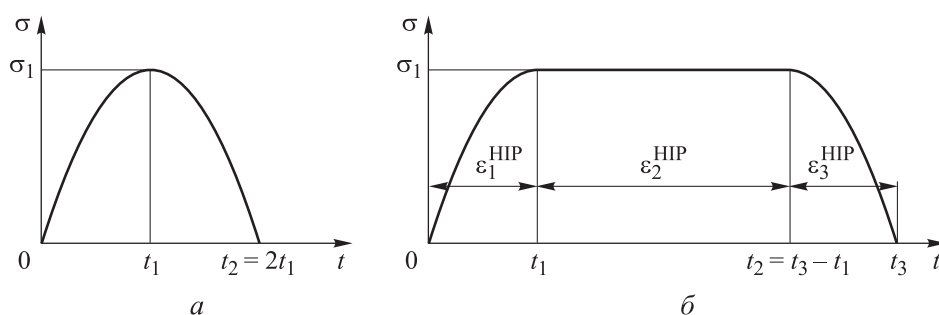


Рис. 5. Кривые изменения контактного давления для катков:

а — гладковальцового; б — НРАС

Уравнение кривой изменения контактного давления (см. рис. 5, а) имеет вид

$$\sigma(t) = \sigma_1 \left[1 - \frac{(t - t_1)^2}{t_1^2} \right], \quad (3)$$

где σ_1 — максимальное контактное давление гладковальцового катка; t_1 — момент времени, соответствующий максимальному контактному давлению.

В случае использования катка НІРАС, имеющего большую площадь контакта, изменение контактного давления будет иметь вид, приведенный на рис. 5, б, причем интервалы нагружения $0 \dots t_1$ и разгрузки $t_2 \dots t_3$ — это половины одной и той же параболы, в интервале $t_1 \dots t_2$ контактное давление постоянное.

Для простоты дальнейших расчетов момент времени t_1 принимаем одинаковым для гладковальцового катка и НІРАС. Таким образом, уравнения кривой изменения контактного давления (см. рис. 5, б) для интервалов $0 \dots t_1$ и $t_2 \dots t_3$ соответственно будут иметь вид

$$\sigma(t)^{0-t_1} = \sigma_2 \left[1 - \frac{(t-t_1)^2}{t_1^2} \right]; \quad \sigma(t)^{t_2-t_3} = \sigma_2 \left[1 - \frac{(t-t_2)^2}{(t_3-t_2)^2} \right]. \quad (4)$$

Здесь σ_2 — максимальное контактное давление катка НІРАС; t_1, t_2 — моменты времени, соответствующие максимальному контактному давлению.

Определяем пластическую деформацию для гладковальцового катка в соответствии с (2), интегрируя (3) в пределах от 0 до t_2 :

$$\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{ГЛВ}} = \frac{1}{\mu} \int_0^{t_2} \sigma_1 \left[1 - \frac{(t-t_1)^2}{t_1^2} \right] dt. \quad (5)$$

В результате интегрирования пластическая деформация для гладковальцового катка

$$\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{ГЛВ}} = \frac{4\sigma_1 t_1}{3\mu}. \quad (6)$$

Общая пластическая деформация для катка НІРАС:

$$\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{НІР}} = \varepsilon_1^{\text{НІР}} + \varepsilon_2^{\text{НІР}} + \varepsilon_3^{\text{НІР}}, \quad (7)$$

где $\varepsilon_1^{\text{НІР}}, \varepsilon_2^{\text{НІР}}, \varepsilon_3^{\text{НІР}}$ — пластические деформации в интервалах $0 \dots t_1, t_1 \dots t_2, t_2 \dots t_3$, согласно кривой контактного давления на рис. 5, б.

Сумма пластических деформаций в интервалах $0 \dots t_1$ и $t_2 \dots t_3$ определяется в соответствии с (2) интегрированием (4) в пределах от 0 до t_1 и от t_2 до t_3 :

$$\varepsilon_1^{\text{НІР}} + \varepsilon_3^{\text{НІР}} = \frac{1}{\mu} \left\{ \int_0^{t_1} \sigma_2 \left[1 - \frac{(t-t_1)^2}{t_1^2} \right] dt + \int_{t_2}^{t_3} \sigma_2 \left[1 - \frac{(t-t_2)^2}{(t_3-t_2)^2} \right] dt \right\}. \quad (8)$$

В результате интегрирования (8) получаем сумму пластических деформаций в интервалах $0 \dots t_1$ и $t_2 \dots t_3$ в виде

$$\varepsilon_1^{\text{HIP}} + \varepsilon_3^{\text{HIP}} = \frac{4\sigma_2 t_1}{3\mu}. \quad (9)$$

Определяем деформацию $\varepsilon_2^{\text{HIP}}$ в интервале $t_1 \dots t_2$, учитывая, что на этом отрезке времени $\sigma(t) = \sigma_2 = \text{const}$:

$$\varepsilon_2^{\text{HIP}} = \frac{1}{\mu} \int_{t_1}^{t_2} \sigma_2 dt. \quad (10)$$

В результате интегрирования (10) найдем пластическую деформацию в интервале $t_1 \dots t_2$:

$$\varepsilon_2^{\text{HIP}} = \frac{\sigma_2}{\mu} (t_2 - t_1). \quad (11)$$

Подставляя в (7) выражения (9) и (11), получаем общую пластическую деформацию для катка НІРАС:

$$\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{HIP}} = \frac{\sigma_2}{\mu} \left(t_3 - \frac{2}{3} t_1 \right). \quad (12)$$

Результаты. Сравним пластические деформации для катка НІРАС и гладковальцового катка, используя выражения (6) и (12). Сравнение выполнено на основе экспериментальных данных [9, 11, 12], приведенных далее (значения даны для одной и той же скорости катков $10 \text{ км/ч} = 2,8 \text{ м/с}$):

	Каток НІРАС	Каток гладковальцовый
Контактное давление, кПа	41,6	1380
Время контакта, с	$30 \cdot 0,036$	0,036

В соответствии с приведенными данными запишем исходные данные для расчета: $\sigma_2 = 41,6 \text{ кПа}$, $t_3 = 30 \cdot 2t_1 = 60t_1$ — для катка НІРАС; $\sigma_1 = 1380 \text{ кПа}$, $t_1 = 0,018 \text{ с}$ — для гладковальцового катка.

С учетом $t_3 = 60t_1$ выражение (12) примет вид

$$\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{HIP}} = \frac{178\sigma_2 t_1}{2\mu}. \quad (13)$$

Подставляя соответствующие исходные данные в выражения (6) и (13), находим отношение $\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{HIP}} / \varepsilon_{\text{пл}}^{\text{ГЛВ}} \approx 1,34$.

Обсуждение полученных результатов. Пластическая деформация слоя асфальтобетонной смеси, возникающая при уплотнении катком

НІРАС, в 1,3 раза больше пластической деформации, возникающей при уплотнении обычным гладковальцовым статическим катком.

Необходимо отметить, что расчеты велись с допущением и момент времени t_1 одинаков в обоих случаях. Однако, если учесть, что диаметр вальца гладковальцового катка больше диаметра вальца катка НІРАС, то t_1 для катка НІРАС будет меньше. В этом случае отношение $\varepsilon_{\text{пл}}^{\text{НІР}} / \varepsilon_{\text{пл}}^{\text{ГЛВ}}$ будет еще больше.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности инновационной технологии уплотнения, что подтверждается результатами полевых экспериментов [9, 11, 12]. После одного прохода катка НІРАС коэффициент уплотнения достигает значения 0,96. По существующим стандартам это значение близко к требуемой плотности асфальтобетонного покрытия [20].

Заключение. В результате проведенного сравнительного анализа выявлено, что приложение небольшой по значению, но продолжительной по времени нагрузки к слою асфальтобетонной смеси более эффективно мобилизует вязкопластичное течение материала.

Полученные результаты позволяют считать уплотняющий каток НІРАС перспективным оборудованием, с помощью которого можно достичь более высокую плотность асфальтобетонной смеси за меньшее число проходов, по сравнению с гладковальцовым катком.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шишкин Е.А. Выбор режимов работы уплотнителей асфальтобетонных смесей. *Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура*, 2023, № 2, с. 78–87. EDN: KNTMDK
- [2] Zhao Y., Xie S., Gao Y., et al. Prediction of the number of roller passes and degree of compaction of asphalt layer based on compaction energy. *Constr. Build. Mater.*, 2021, vol. 277, art. 122274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122274>
- [3] Шишкин Е.А. Метод измерения длины дуги контакта вальца дорожного катка с уплотняемой поверхностью. *Вестник Тихоокеанского государственного университета*, 2019, № 1, с. 27–34. EDN: ZBFWDR
- [4] Karimi M.M., Tabatabaee N., Jahangiri B., et al. Constitutive modeling of hardening-relaxation response of asphalt concrete in cyclic compressive loading. *Constr. Build. Mater.*, 2017, vol. 137, pp. 169–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.116>
- [5] Yun T., Kim Y.R. Viscoelastoplastic modeling of the behavior of hot mix asphalt in compression. *KSCE J. Civ. Eng.*, 2013, vol. 17, no. 6, pp. 1323–1332. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0352-7>

- [6] Gavrilov T., Kolesnikov G., Khoroshilov K. Tangential forces in the contact area of upper road layer with the base. *MATEC Web Conf.*, 2018, vol. 239, art. 05012. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823905012>
- [7] Beainy F., Commuri S., Zaman M., et al. Viscoelastic-plastic model of asphalt-roller interaction. *Int. J. Geomech.*, 2013, vol. 13, no. 5, pp. 581–594. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000240](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000240)
- [8] Halim O., Pinder F., Chelliah A., et al. Reducing maintenance and rehabilitation costs through the use of AMIR compaction. *Civ. Eng. Architect.*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2013.010301>
- [9] Rickards I., Goodman S., Pagani J., et al. Practical realization of a new concept for asphalt compaction. *Transp. Res. Rec.*, 1999, vol. 1654, no. 1, pp. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.3141/1654-03>
- [10] Halim A., Tayyeb H., Chellia A., et al. Field and laboratory studies of AMIR II compacted asphalt pavement. *JMEST*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 3722–3734.
- [11] Halim A., Omar A., Awadalla M., et al. Development of the asphalt multi-integrated roller field and experimental studies. *J. Constr. Eng.*, 2015, vol. 2015, art. 752674. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/752674>
- [12] Halim A., El-Desouky A., Halim A. Extending the service life of bridges through proper compaction of asphalt decks. In: *Advancement in the design and performance of sustainable asphalt pavements. GeoMEast 2017*. Cham, Springer Nature, 2018, pp. 49–65. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61908-8_5
- [13] Halim A., Haas R. Process and case illustration of construction innovation. *J. Constr. Eng. Manag.*, 2004, vol. 130, no. 4. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(570\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(570))
- [14] Шишкин Е.А., Смоляков А.А. Повышение эффективности уплотнения асфальтобетонной смеси гладковальцовым катком. *Вестник СГУПС*, 2022, № 1, с. 95–103. EDN: FZTZGG
- [15] Yang J., Xie J., Tang X., et al. Study on the permanent deformation of asphalt mixtures based on the modified Burgers model. *Front. Built Environ.*, 2024, vol. 10, art. 1357396. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1357396>
- [16] Feng H., Pettinari M., Stang H. Three different ways of calibrating Burger's contact model for viscoelastic model of asphalt mixtures by discrete element method. In: *8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials. Vol. 11*. Dordrecht, Springer Nature, 2016, pp. 423–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-7342-3_34
- [17] Носов С.В. Моделирование эволюции деформаций и напряжений в дорожно-строительных материалах на основе реологического подхода. *Научный журнал строительства и архитектуры*, 2019, № 1, с. 73–83. DOI: <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.53.1.007>
- [18] Носов С.В. Математическое моделирование процесса уплотнения дорожно-строительных материалов жестким вальцом дорожного катка. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*, 2013, № 4, с. 31–35. EDN: QCEJOT

[19] Малич Н.Г., Блохин В.С. Особенности уплотнения среды вальцами катков. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2008, № 8, с. 345–355. EDN: KKOYR

[20] Симчук Е.Н., Жданов К.А., Дедковский И.А. Совершенствование подходов и методов оценки физических и эксплуатационных свойств дорожного асфальтобетона в России. *Дороги и мосты*, 2021, № 1, с. 181–221. EDN: NLXXIP

Шишкин Евгений Алексеевич — канд. техн. наук, доцент Высшей школы промышленной инженерии ФГБОУ ВО «ТОГУ» (Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, Тихоокеанская ул., д. 136).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Шишкин Е.А. Сравнительный анализ пластических деформаций при уплотнении асфальтобетонной смеси. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2025, № 1 (152), с. 131–141. EDN: UDDLIIY

COMPARATIVE ANALYSIS OF PLASTIC DEFORMATIONS IN THE ASPHALT CONCRETE MIXTURE COMPUCTION

E.A. Shishkin

004655@pnu.edu.ru

PNU, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract

Geometry of the smooth-drum static roller working element determines high speed and short time of load application to the compacted material. Such a mode of loading the hot asphalt concrete mixture leads to the high dynamic resistance to deformation and, as a consequence, to a decrease in the compaction efficiency. The HIPAC roller has a large flat contact area with the compacted material ensuring long duration of the load application. However, the pressure acting on the asphalt concrete layer is relatively small, and this could become a factor in low efficiency. The paper compares values of the plastic deformation appearing during the asphalt concrete mixture compaction by both a static smooth-drum roller and the HIPAC roller. To achieve the goal, the paper accepts a rheological model of the asphalt concrete mixture and establishes the law of the model viscous element behaviour that reflects plastic properties of the compacted material. Taking into account the working elements geometry makes it possible to obtain equations for changing the contact pressure under the smooth drum and the HIPAC roller belt. The paper

Keywords

Asphalt concrete mixture, plastic deformations, rheological model, innovative compaction technology, efficiency

presents analytical expressions to determine plastic deformations that occur during the asphalt concrete mixtures compaction by a smooth-drum roller and the HIPAC roller. It establishes that plastic deformation from the HIPAC roller is more than 1.3 times higher than plastic deformation from a smooth-drum roller. The paper proves that the HIPAC roller is more efficient than a smooth-drum roller in compacting the asphalt concrete mixtures. Using the HIPAC roller to compact the asphalt concrete mixtures would allow achieving the required material density in fewer passes

Received 08.05.2024

Accepted 23.05.2024

© Author(s), 2025

REFERENCES

- [1] Shishkin E.A. Selection of the operating modes of compactors for asphalt-concrete mixtures. *Vestnik VolgGASU. Ser. Stroitelstvo i arkhitektura* [Vestnik VolgGASU. Ser. Construction and Architecture], 2023, no. 2, pp. 78–87 (in Russ.). EDN: KNTMDK
- [2] Zhao Y., Xie S., Gao Y., et al. Prediction of the number of roller passes and degree of compaction of asphalt layer based on compaction energy. *Constr. Build. Mater.*, 2021, vol. 277, art. 122274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122274>
- [3] Shishkin E.A. The measuring method of contact arc length of a roller with the surface. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Pacific National University], 2019, no. 1, pp. 27–34 (in Russ.). EDN: ZBFWDR
- [4] Karimi M.M., Tabatabaee N., Jahangiri B., et al. Constitutive modeling of hardening-relaxation response of asphalt concrete in cyclic compressive loading. *Constr. Build. Mater.*, 2017, vol. 137, pp. 169–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.116>
- [5] Yun T., Kim Y.R. Viscoelastoplastic modeling of the behavior of hot mix asphalt in compression. *KSCE J. Civ. Eng.*, 2013, vol. 17, no. 6, pp. 1323–1332. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0352-7>
- [6] Gavrilov T., Kolesnikov G., Khoroshilov K. Tangential forces in the contact area of upper road layer with the base. *MATEC Web Conf.*, 2018, vol. 239, art. 05012. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823905012>
- [7] Beainy F., Commuri S., Zaman M., et al. Viscoelastic-plastic model of asphalt-roller interaction. *Int. J. Geomech.*, 2013, vol. 13, no. 5, pp. 581–594. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000240](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000240)
- [8] Halim O., Pinder F., Chelliah A., et al. Reducing maintenance and rehabilitation costs through the use of AMIR compaction. *Civ. Eng. Architect.*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2013.010301>
- [9] Rickards I., Goodman S., Pagani J., et al. Practical realization of a new concept for asphalt compaction. *Transp. Res. Rec.*, 1999, vol. 1654, no. 1, pp. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.3141/1654-03>
- [10] Halim A., Tayyeb H., Chellia A., et al. Field and laboratory studies of AMIR II compacted asphalt pavement. *JMEST*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 3722–3734.

- [11] Halim A., Omar A., Awadalla M., et al. Development of the asphalt multi-integrated roller field and experimental studies. *J. Constr. Eng.*, 2015, vol. 2015, art. 752674. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/752674>
- [12] Halim A., El-Desouky A., Halim A. Extending the service life of bridges through proper compaction of asphalt decks. In: *Advancement in the design and performance of sustainable asphalt pavements. GeoMEast 2017*. Cham, Springer Nature, 2018, pp. 49–65. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61908-8_5
- [13] Halim A., Haas R. Process and case illustration of construction innovation. *J. Constr. Eng. Manag.*, 2004, vol. 130, no. 4. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(570\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(570))
- [14] Shishkin E.A., Smolyakov A.A. Improving the efficiency of compacting the asphalt concrete mixture with a smooth drum roller. *Vestnik SGUPS*, 2022, no. 1, pp. 95–103. EDN: FZTZGG
- [15] Yang J., Xie J., Tang X., et al. Study on the permanent deformation of asphalt mixtures based on the modified Burgers model. *Front. Built Environ.*, 2024, vol. 10, art. 1357396. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1357396>
- [16] Feng H., Pettinari M., Stang H. Three different ways of calibrating Burger's contact model for viscoelastic model of asphalt mixtures by discrete element method. In: *8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials. Vol. 11*. Dordrecht, Springer Nature, 2016, pp. 423–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-7342-3_34
- [17] Nosov S.V. Modeling the evolution of deformations and stresses in road construction materials based on the rheological approach. *Nauchnyy zhurnal stroitelstva i arkhitektury* [Russian Journal of Building Construction and Architecture], 2019, no. 1, pp. 73–83 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.53.1.007>
- [18] Nosov S.V. Mathematical modeling of the process of compaction of road-building materials by a rigid roller of a road roller. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BSTU n.a. V.G. Shukhov], 2013, no. 4, pp. 31–35 (in Russ.). EDN: QCEJOT
- [19] Malich N.G., Blokhin V.S. Peculiarities of medium compaction by rollers' rollers. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2008, no. 8, pp. 345–355 (in Russ.). EDN: KKOOYR
- [20] Simchuk E.N., Zhdanov K.A., Dedkovskiy I.A. Improvement of approaches and methods of assessment of physical and operational properties of road asphalt concrete in Russia. *Dorogi i mosty*, 2021, no. 1, pp. 181–221 (in Russ.). EDN: NLXXIP

Shishkin E.A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Graduate School of Industrial Engineering, PNU (Tikhookeanskaya ul. 136, Khabarovsk, 680035 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Shishkin E.A. Comparative analysis of plastic deformations in the asphalt concrete mixture compaction. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2025, no. 1 (152), pp. 131–141 (in Russ.). EDN: UDDLII