

УДК 625.8

Е. А. Шишкин

Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ)

ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ УПЛОТНИТЕЛЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

От правильности назначения режимов работы уплотняющей техники зависит качество получаемого покрытия. Важно установить температурные границы эффективной укатки слоя заданным дорожным катком. Приведены полученные зависимости температурных границ эффективной работы катка, на основе которых спроектирован алгоритм выбора рациональных режимов работы уплотняющей техники. Алгоритм учитывает стоимость выполнения работ по уплотнению асфальтобетонного слоя и может быть использован для формирования оптимального комплекта дорожных катков в заданных условиях производства работ.

Ключевые слова: дорожный каток, асфальтобетонная смесь, валец, укатка, прочность, линейное давление, температура, алгоритм.

Введение

В Российской Федерации темпы дорожного строительства непрерывно возрастают. При выборе верхнего конструктивного слоя предпочтение отдается асфальтобетонной смеси, т. к. она характеризуется значительным сроком эксплуатации и высокой ремонтпригодностью [1, 2]. Уложенный слой асфальтобетонной смеси необходимо уплотнять для обеспечения требуемой плотности и ровности покрытия. Для осуществления операции уплотнения слоя уложенной смеси используют дорожные катки [3]. Производитель работ формирует комплект дорожных катков из имеющихся в наличии моделей [4]. Однако различные модели катков эффективны для разных температурных диапазонов уплотняемого слоя смеси с учетом внешних факторов производства работ [5—7].

Эффективность уплотнения различными моделями дорожных катков оценивается по величине остаточных деформаций слоя смеси после каждого прохода машины. Если каток обеспечивает развитие наибольших остаточных деформаций, следовательно, он эффективен в заданных условиях производства работ. При этом важно, чтобы давление вальца катка на материал не приводило к разрушению последнего [8]. Таким образом, решаемую в статье задачу нахождения эффективных режимов работы дорожных катков можно считать актуальной.

Метод исследования

Максимальное контактное давление под вальцом катка σ_k характеризует уплотняющую способность машины. Если максимальное контактное давление оказывается выше предела прочности слоя смеси $\sigma_{пр}$, то происходит разрушение слоя [9]. Если же величина максимального контактного давления оказывается ниже некоторой границы, уплотнение катком будет неэффективным, т. к. в таком случае остаточная деформация минимальна. Чтобы обеспечить эффективность операции уплотнения, максимальное контактное давление вальца σ_k должно находиться в границах следующего диапазона [10, 11]:

$$0,9\sigma_{\text{пр}} \leq \sigma_{\text{к}} \leq \sigma_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ — предел прочности смеси, МПа.

Результаты экспериментов [12, 13] по установлению значений предела прочности асфальтобетонных смесей различных типов приведены на рис. 1.

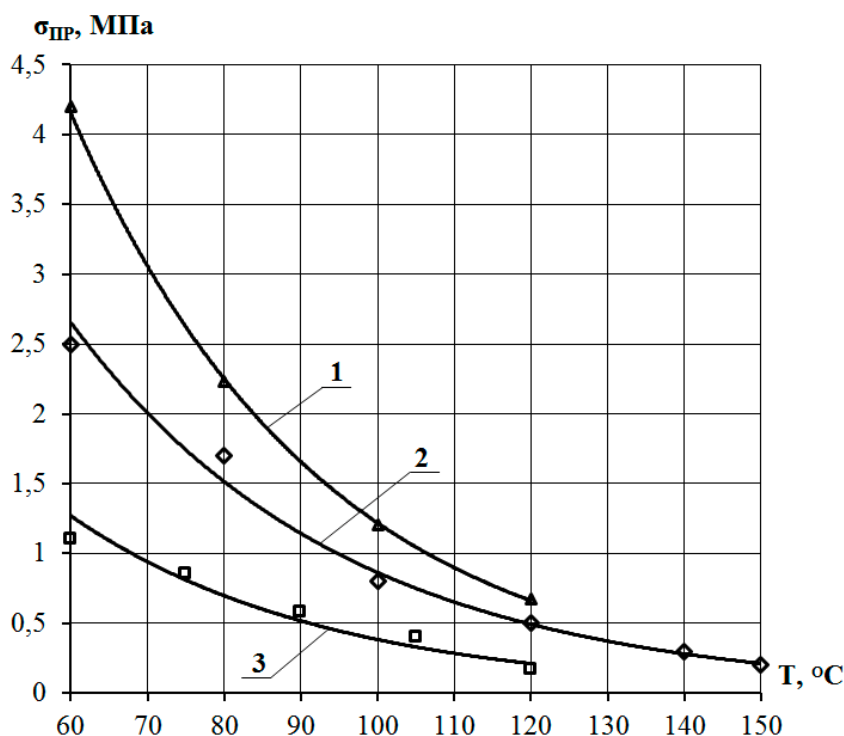


Рис. 1. Предел прочности асфальтобетонной смеси как функция ее температуры: 1 — смесь типа А; 2 — смесь типа Б; 3 — смесь типа В

На основе корреляционно-регрессионного анализа значений предела прочности для различных типов асфальтобетонной смеси установлена взаимосвязь предела прочности смеси со свойствами последней, характеризуемая высокой достоверностью

$$\sigma_{\text{пр}} = ae^{-bT}, \quad (2)$$

где a , b — эмпирические коэффициенты, зависящие от характеристик асфальтобетонной смеси; T — температура слоя смеси, °C.

Графическая интерпретация условия (1) приведена на рис. 2. Нижняя и верхняя кривые соответствуют границам эффективного уплотнения смеси катком с заданным силовым воздействием на материал. Кривые $0,9\sigma_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{пр}}$ могут быть получены из уравнения (2) после проведения соответствующих экспериментов (в данной статье методика проведения экспериментальных работ не рассматривается).

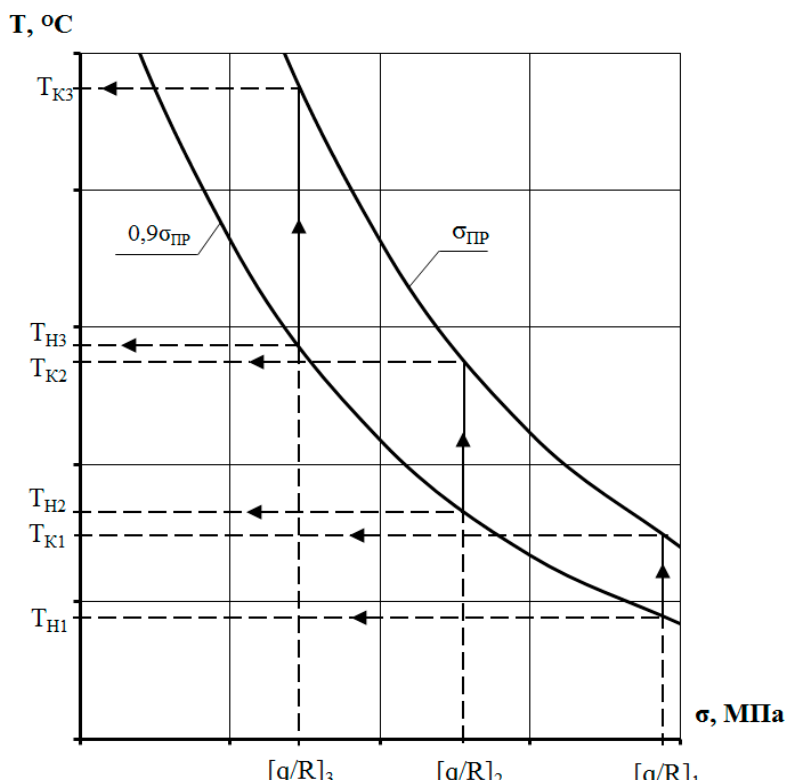


Рис. 2. Диаграмма температурных диапазонов эффективной укатки слоя асфальтобетонной смеси

Так как вес катка не позволяет адекватно оценить силовое воздействие на уплотняемый материал, в [4] предложен силовой параметр, равный отношению линейного давления вальца q к его радиусу R . На основе уравнения (2) получим зависимости, позволяющие определять температуры T_{ni} и T_{ki} слоя смеси, при которых необходимо начинать и завершать уплотнение i -м катком с параметром $[q/R]_i$ с точки зрения эффективности укатки:

$$T_{ni} = \frac{1}{b} \ln \frac{0,9a}{[q/R]_i}; \quad T_{ki} = \frac{1}{b} \ln \frac{a}{[q/R]_i}, \quad (3)$$

где i — номер катка в комплекте (номер этапа уплотнения).

Таким образом могут быть установлены температурные диапазоны эффективной укатки для предварительного (T_{n1}/T_{k1}), основного (T_{n2}/T_{k2}) и заключительного (T_{n3}/T_{k3}) этапов уплотнения. Рассчитанные температурные границы позволяют определить время работы i -го дорожного катка из комплекта [14—16]:

$$\Delta t_i = \frac{1}{m} \ln \frac{T_{ni} - T_b}{T_{ki} - T_b}, \quad (4)$$

где $T_{ш}$ — температура начала уплотнения слоя i -м катком, °С; $T_{ки}$ — температура окончания уплотнения слоя i -м катком, °С; $T_{в}$ — температура окружающей среды, °С; m — интенсивность теплоотдачи уплотняемого слоя, 1/ч. Интенсивность теплоотдачи уплотняемого слоя определяется по формуле [14]

$$m = \frac{\alpha}{5\rho ch}, \quad (5)$$

где α — коэффициент теплоотдачи слоя, ккал/м·ч·°С; c — теплоемкость слоя; ρ — плотность слоя, г/см³; h — толщина слоя, см.

Общее время уплотнения участка покрытия комплектом катков влияет на себестоимость работ, которая принята в качестве критерия оценки эффективности работы комплекта. Задача состоит в минимизации затрат на выполнение работ по уплотнению захватки при обеспечении требуемого качества покрытия

$$C = \sum_{i=1}^3 C_i^{np} \Delta t_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

где C — себестоимость укатки захватки асфальтобетонного покрытия, руб; C_i^{np} — удельные приведенные затраты на уплотнение захватки i -м катком комплекта, руб/ч.

Под удельными приведенными затратами в данном случае подразумевается стоимость 1 ч аренды уплотнителя [17]. В результате анализа арендной стоимости катков ведущих отечественных и зарубежных производителей (рис. 3) установлена следующая зависимость

$$C_i^{np} = 61098[q/R]_i - 379,51. \quad (7)$$

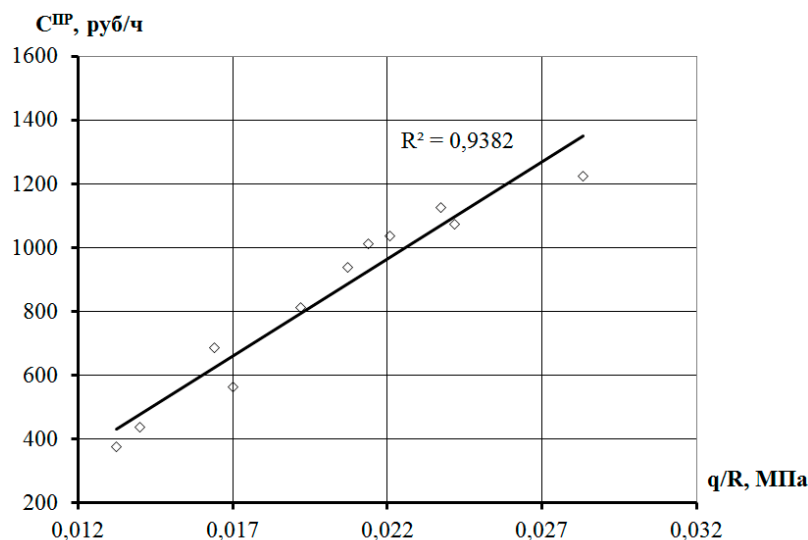


Рис. 3. Диаграмма зависимости стоимости аренды дорожного катка от отношения q/R

Подставив выражение (7) в уравнение (6), получим

$$C = \sum_{i=1}^3 (61098[q/R]_i - 379,51) \Delta t_i \rightarrow \min. \quad (8)$$

Алгоритм формирования комплекта дорожных катков, разработанный на основе описанной выше методики, приведен на рис. 4 в виде блок-схемы. Исходными данными для расчета являются физико-механические характеристики заданной асфальтобетонной смеси, а также параметры окружающей среды при производстве работ. Процесс формирования различных комплектов дорожных катков из n моделей базы данных (БД) [18], сформированной перед началом расчета, организован внутри цикла. Для каждого сформированного комплекта определяется значение себестоимости укатки захватки асфальтобетонного покрытия, которое заносится в соответствующую БД. Эффективным комплектом из множества сформированных считается тот, у которого себестоимость укатки захватки минимальна.

Представленный алгоритм выполнен в виде программы с графическим интерфейсом пользователя. При запуске программы появляется графическое окно, в котором необходимо ввести исходные данные для расчета (рис. 5), а именно: тип заданной асфальтобетонной смеси, а также параметры производства работ. Кроме этого требуется ввести конструктивные параметры моделей катков, имеющихся в наличии у производителя работ, либо моделей, планируемых к приобретению. Допускаются различные варианты ввода данных параметров — ручной ввод либо вставка из буфера заранее сформированного массива данных. Под конструктивными параметрами подразумеваются масса, приходящаяся на валец, радиус и ширина вальца.

На рисунке 5 показан вариант ввода конструктивных параметров следующих дорожных катков: SAKAI SW350, VOLVO DD85, DYNAPAC CG233HF. В данном случае программа осуществляет расчет режимов работы комплекта дорожных катков, который сформирован пользователем. Кроме этого имеется возможность формирования множества комплектов дорожных катков на основе БД введенных моделей катков с последующим выбором оптимального комплекта, обеспечивающего наибольшую эффективность выполнения операции уплотнения. Данная функция может быть использована при формировании парка уплотняющих машин дорожного предприятия, что позволит повысить его конкурентоспособность.

После нажатия кнопки «Выполнить расчет» программа выдает окно результатов расчета (рис. 6), в котором указываются температурные границы работы каждого катка сформированного комплекта.

Для каждого региона производства работ известны средние значения параметров окружающей среды, а также характерные типы используемых смесей. Поэтому результаты расчета дают возможность оценить, насколько эффективно будет применение различных моделей катков, имеющихся в наличии у предприятия или планируемых к приобретению.

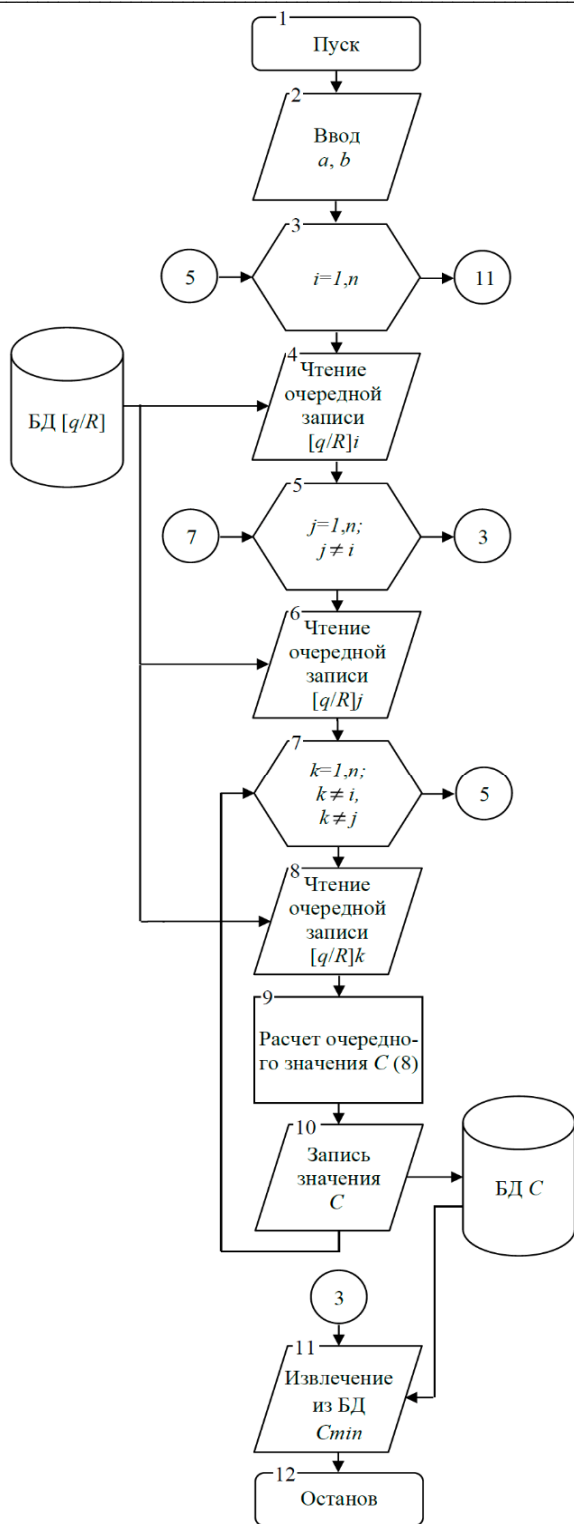


Рис. 4. Упрощенная блок-схема алгоритма выбора оптимального комплекта

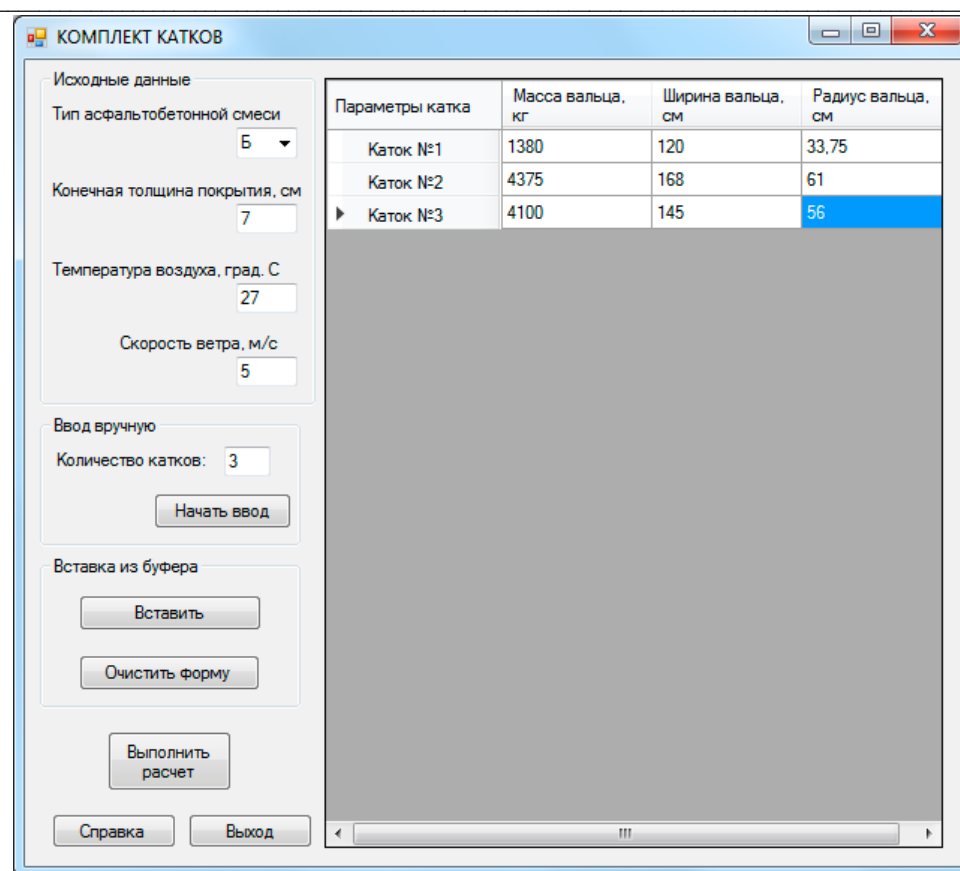


Рис. 5. Диалоговое окно ввода исходных данных программы

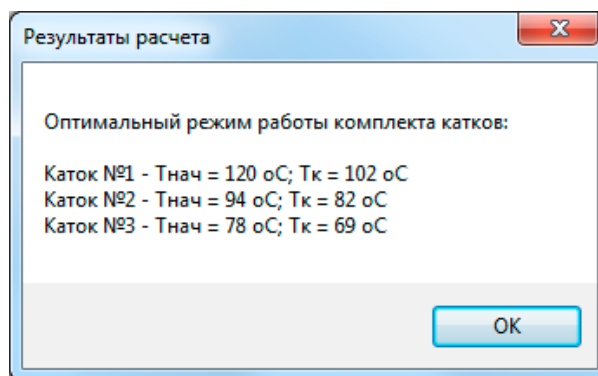


Рис. 6. Окно результатов расчета программы

Выводы

Разработанная программа протестирована в производственных условиях при строительстве автомобильной дороги по ул. Краснореченской в городе Хабаровске. С помощью программы назначались режимы работы для дорожных катков, имеющихся в наличии у производителя работ, в зависимости от изменяющихся условий окружающей среды. В результате лабораторных ис-

пытаний вырубков, извлеченных из экспериментального участка покрытия после окончания работ, получены значения коэффициента уплотнения (рис. 7), которые удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128—2013. Это свидетельствует о получении покрытия требуемого качества.

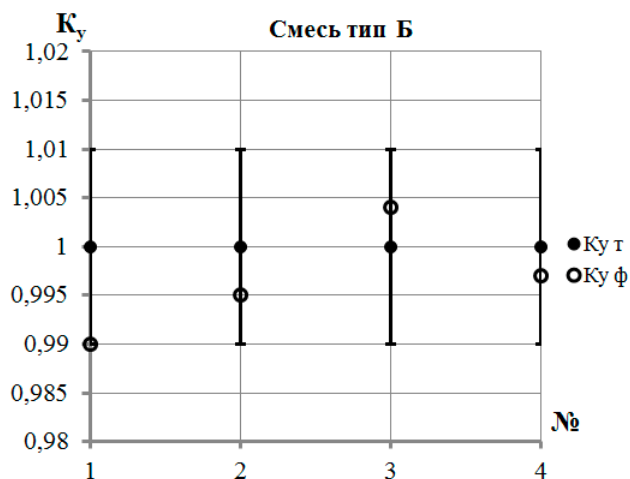


Рис. 7. Результаты лабораторных испытаний: $K_{ут}$ — требуемый коэффициент уплотнения; $K_{уф}$ — фактический коэффициент уплотнения

Программа на основе предложенного алгоритма позволяет:

- осуществлять назначение эффективных режимов работы дорожным каткам, которыми располагает производитель работ, с учетом условий окружающей среды;
- формировать парк дорожных катков по критерию эффективности выполнения операции уплотнения для заданных условий производства работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общие сведения об асфальтобетонной смеси / Е. А. Васильченко, И. С. Рязанова, А. Р. Сысоев, А. А. Солдатов, С. О. Яшин // Вестник науки и образования. 2022. № 5(125). Т. 1. С. 66—69.
2. Ермилов А. А. Вероятностная оценка уплотняемости асфальтобетона при ремонте городских дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 313—319.
3. Марков В. И., Петров А. Н. Обоснование выбора системы катков для уплотнения асфальтобетонных слоев дорожной одежды // Resources and Technology. 2008. № 7. С. 61—63.
4. Чабуткин Е. К., Гуремнов И. С., Попов Ю. Г. Методика расчета режима работы вибрационного катка при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5(95). С. 19—24.
5. Пермяков В. Б., Беляев К. В. Влияние режимных параметров катков на интенсивность уплотнения асфальтобетонных смесей // Строительные и дорожные машины. 2007. № 1. С. 19—22.
6. Иванов В. Н., Трофимова Л. С., Линева Ф. В. Влияние параметров катков на качество уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожных покрытиях // Механизация строительства. 2012. № 8(818). С. 11—13.
7. Алексиков С. В., Данилов И. А., Евдокименко А. О. Особенности ремонта проезжей части городских дорог горячими асфальтобетонными смесями // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 71—80.

8. Hainin M. R., Oluwasola E. A., Brown E. R. Density profile of hot mix asphalt layer during compaction with various types of rollers and lift thickness // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 265—277.
9. Ahmed K., Irfan M., Ahmed S., Ahmed A. Experimental investigation of strength and stiffness characteristics of hot mix asphalt (HMA) // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 77. Pp. 155—160.
10. Nosov S. V. Determination of rational contact pressure under a roller when compacting asphalt concrete mixes // *Russian journal of building construction and architecture*. 2017. Vol. 2. No. 34. Pp. 45—53.
11. Захаренко А. В. Уплотняющее давление вальцов дорожного катка // *Строительные и дорожные машины*. 2005. № 2. С. 24—26.
12. Muro T., Hoshika Y. Tractive performance and compaction effect of a road roller running on a weak sandy soil // *Journal of Terramechanics*. 1995. Vol. 32. No. 5. Pp. 245—261.
13. Kamdem R. F., Adedeji J. A., Mostafa M. M. A study on indirect tensile strength for the determination of resilient modulus of warm mix asphalt // *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 69. Pp. 783—790.
14. Hayat A., Hussain A., Afridi H. F. Determination of in-field temperature variations in fresh HMA and corresponding compaction temperatures // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 216. Pp. 84—92.
15. Ma X., Leng Z., Wang L., Zhou P. Effect of reclaimed asphalt pavement heating temperature on the compactability of recycled hot mix asphalt // *Materials*. 2020. Vol. 13. No. 16. P. 3621.
16. Gong X., Liu Q., Lv Y., Chen S. A systematic review on the strategies of reducing asphalt pavement temperature // *Case Studies in Construction Materials*. 2023. Vol. 18. URL: https://www.researchgate.net/publication/367143062_A_Systematic_Review_on_The_Strategies_Of_Reducing_Aspphalt_Pavement_Temperature.
17. Zanina A., Lazarev Y., Radaev A. Determination of the structure for the road construction machinery fleet on the basis of fractional linear optimization // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. Pp. 27—40.
18. Кустарев Г. В., Баловнев В. И., Данилов Р. Г. Особенности формирования программного продукта выбора вибрационных катков // *Строительные и дорожные машины*. 2017. № 6. С. 36—41.

© Шишкин Е. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Шишкин Е. А. Выбор режимов работы уплотнителей асфальтобетонных смесей // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 78—87.

Об авторе:

Шишкин Евгений Алексеевич — канд. техн. наук, доц. каф. транспортно-технологических систем, Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ). Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136; 004655@pnu.edu.ru; ORCID: 0000-0003-4387-0228

Evgeniy A. Shishkin

Pacific National University

SELECTION OF THE OPERATING MODES OF COMPACTORS FOR ASPHALT-CONCRETE MIXTURES

The quality of the resulting coating depends on the correctness of the assignment of the operating modes of the sealing equipment. It is important to set the temperature limits of the effective rolling of the layer with a given road roller. In the article, the dependences of the temperature limits of the effective operation of the roller are obtained, on the basis of which an algorithm for choosing rational modes of operation of sealing equipment is designed. The algorithm takes into account the

cost of work on compaction of the asphalt concrete layer and can be used to form an optimal set of road rollers in the specified conditions of work.

Key words: road roller, asphalt-concrete mixture, rollers, rolling, strength, linear pressure, temperature, algorithm.

For citation:

Shishkin E. A. [Selection of the operating modes of compactors for asphalt-concrete mixtures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 78—87.

About author:

Evgeniy A. Shishkin — Candidate of Engineering Sciences, Pacific National University. 136, Tikhookeanskaya st., Khabarovsk, 680035, Russian Federation; 004655@pnu.edu.ru; ORCID: 0000-0003-4387-0228