

УДК 625.8

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКТА ДОРОЖНЫХ КАТКОВ ПРИ УПЛОТНЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Максим Антонович Власенко, студент,
ТОГУ, Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, 2017103390@pnu.edu.ru,

Евгений Алексеевич Шишкин, канд. техн. наук, доц.,
ТОГУ, Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, 004655@pnu.edu.ru.

Аннотация. В качестве верхнего покрытия автомобильной дороги преимущественно используют асфальтобетонную смесь. Завершающей операцией строительства автомобильной дороги является уплотнения асфальтобетонного покрытия. От качества выполнения данной операции зависит долговечность сооружения в целом. Для уплотнения асфальтобетонной смеси используют комплект дорожных катков. Важным аспектом уплотнения, влияющим на эффективность процесса, является выбор режимов работы машин. Условием эффективного уплотнения является соответствие конструктивных параметров дорожного катка физико-механическим характеристикам асфальтобетонной смеси. Одной из наиболее важных характеристик асфальтобетонной смеси является температура, которая оказывает влияние на плотность и прочность покрытия. В работе установлена аналитическая взаимосвязь силового параметра катка от температуры асфальтобетонной, а также параметров окружающей среды. На основе данной зависимости разработан алгоритм формирования комплекта катков, а также расчета их режимов работы. Критерием эффективности работы комплекта служит себестоимость укатки. Разработанный алгоритм был реализован в виде программного комплекса с графическим интерфейсом.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетонное покрытие, дорожный каток, уплотнение, прочность смеси, температура, линейное давление, эффективность, себестоимость работ.

OPTIMIZATION OF THE ROAD ROLLERS SET OPERATING MODES WHEN COMPACTING ASPHALT CONCRETE MIXTURE

Vlasenko Maksim A., student,
PNU, 136, Tikhookeanskaya st., Khabarovsk, 680035, Russia, 2017103390@pnu.edu.ru,

Shishkin Evgeniy A., Ph. D., associate professor,
PNU, 136, Tikhookeanskaya st., Khabarovsk, 680035, Russia, 004655@pnu.edu.ru.

Abstract. An asphalt-concrete mixture is predominantly used as the top surface of a motor road. The final operation of the road construction is the compaction of the asphalt concrete pavement. The durability of the structure as a whole depends on the quality of this operation. A set of road rollers is used to compact the asphalt concrete mixture. An important aspect of compaction that affects the efficiency of the process is the selection of the operating modes of the machines. The condition for effective compaction is the compliance of the design parameters of the road roller with the physical and mechanical characteristics of the asphalt concrete mixture. One of the most important characteristics of an asphalt mix is temperature, which affects the density and strength of the pavement. The paper establishes an analytical relationship between the power parameter of the roller and the temperature of the asphalt concrete, as well as the parameters of the environment. On the basis of this dependence, an algorithm has been developed for forming a set of rollers, as well as calculating their operating modes. The criterion for the effectiveness of the kit is the cost of rolling. The developed algorithm was implemented as a software package with a graphical interface.

Key words: motor road, asphalt concrete pavement, road roller, compaction, mix strength, temperature, line pressure, efficiency, cost of work.

Введение

В последние годы в России наблюдается резкое увеличение объемов дорожного строительства. Среди материалов, применяемых для устройства верхнего слоя покрытия автомобильной дороги, наибольшее распространение получила асфальтобетонная смесь. После укладки слоя смеси производят его уплотнение. Эта операция является завершающей и обеспечивает требуемую структуру и свойства асфальтобетона. Качество выполнения данной операции влияет на долговечность покрытия. Уплотнение асфальтобетонной смеси производится комплектом дорожных катков. Каждый каток имеет определенный температурный интервал эффективной работы на рассматриваемой площадке покрытия [1].

Основной проблемой, с которой сталкивается дорожник при осуществлении работ по уплотнению асфальтобетонной смеси, является выбор такого значения силового воздействия на материал, при котором развиваются максимальные пластические деформации без нарушения

сплошности материала [2]. В данной статье решается задача определения рациональных режимов работы катков в составе комплекта.

Методика

Эффективность укатки смеси зависит от контактного давления σ_k , развиваемого вальцом катка на поверхности материала. Превышение контактным давлением предела прочности смеси $\sigma_{разр}$ приводит к нарушению сплошности асфальтобетонного слоя. Существует и нижняя граница диапазона рационального контактного давления, за пределами которой уплотнение становится неэффективным из-за отсутствия остаточных деформаций. Для эффективного уплотнения асфальтобетонной смеси значение контактного давления под вальцом катка σ_k должно удовлетворять следующему условию [3, 4, 5].

$$0,9\sigma_{разр} \leq \sigma_k \leq \sigma_{разр}, \quad (1)$$

где $\sigma_{разр}$ – предел прочности смеси, МПа.

Результаты экспериментальных исследований предела прочности асфальтобетонных смесей, проведенные в работе [6], представлены на рисунке 1.

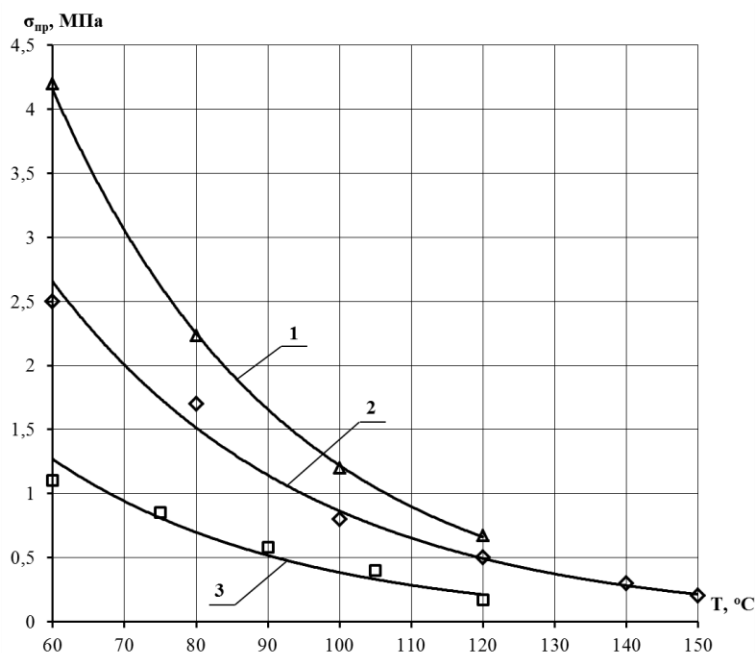


Рис. 1. Зависимость предела прочности от температуры для различных типов асфальтобетонных смесей: 1 – тип А; 2 – тип Б; 3 – тип В

В результате статистической обработки данных (рис. 1) была получена общая зависимость предела прочности смеси от физико-механических характеристик материала

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

где a, b – коэффициенты свойств материала, определяемые из эксперимента; T – температура асфальтобетонной смеси, °С.

Графически интервал эффективной укатки (1) представлен на рис. 2 в виде пары кривых. При этом кривая $\sigma_{разр}$ строится на основании значений, полученных из уравнения (2).

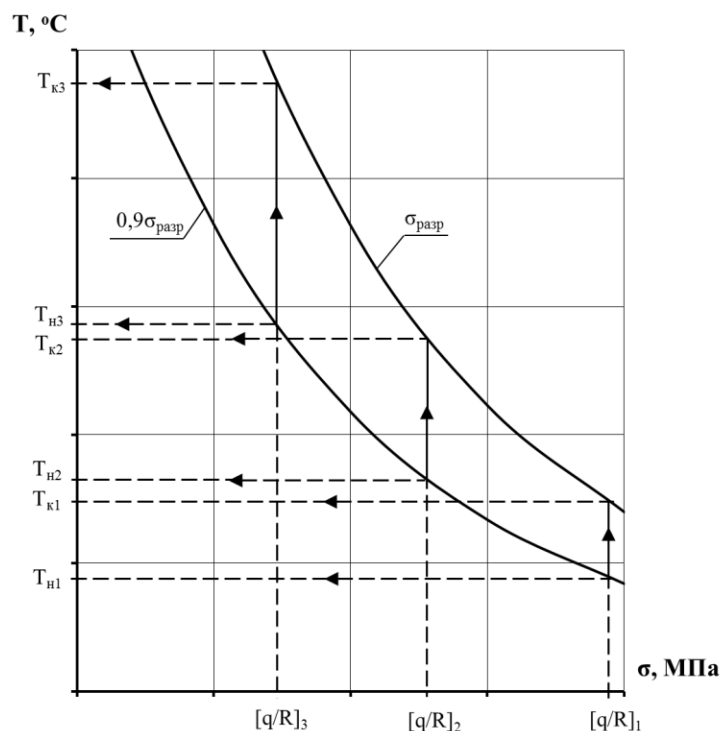


Рис. 2. Границы эффективного уплотнения асфальтобетонной смеси катками с различным параметром силового воздействия

В работе [7] силовое воздействие вальца катка на покрытие предлагается оценивать комплексным показателем q/R , где q – линейное давление вальца, R – радиус вальца. Тогда с учетом (2) получим уравнения для определения температурного диапазона $T_{ni} \div T_{ki}$ эффективной работы катка с силовым параметром $[q/R]_i$

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

где i – номер этапа уплотнения.

Таким способом получаем границы интервалов температуры смеси для предварительного ($T_{h1} \div T_{k1}$), основного ($T_{h2} \div T_{k2}$) и окончательного ($T_{h3} \div T_{k3}$) этапов уплотнения. Используя полученные значения, определяем время работы катка на соответствующем этапе, ч, по формуле [8]

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

где T_{hi} - температура смеси в момент начала уплотнения на i -м этапе, °C; T_{ki} - температура смеси в момент окончания уплотнения на i -м этапе, °C; T_g - температура воздуха, °C; m – скорость охлаждения смеси, 1/ч.

Скорость охлаждения смеси определяется по формуле [8]

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

где α - коэффициент теплоотдачи смеси, Ккал/м·ч·°C; c – теплоемкость смеси; ρ - плотность смеси, г/см³; h - толщина слоя смеси, см.

В настоящее время модельный ряд катков очень широк и подбор наиболее эффективного комплекта представляет собой весьма сложную задачу. Аналитическое выражение критерия эффективности для решения данной задачи имеет вид:

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

где C – себестоимость выполнения работ по уплотнению захватки; C_i^{np} - удельные приведенные затраты на i -м этапе уплотнения.

Примем в качестве удельных приведенных затрат часовую стоимость аренды дорожного катка с учетом НДС. Проанализировав рынок аренды катков Дунарас, Weber, Bomag, Ammann, Раскат (рис. 3), была получена статистическая зависимость вида

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

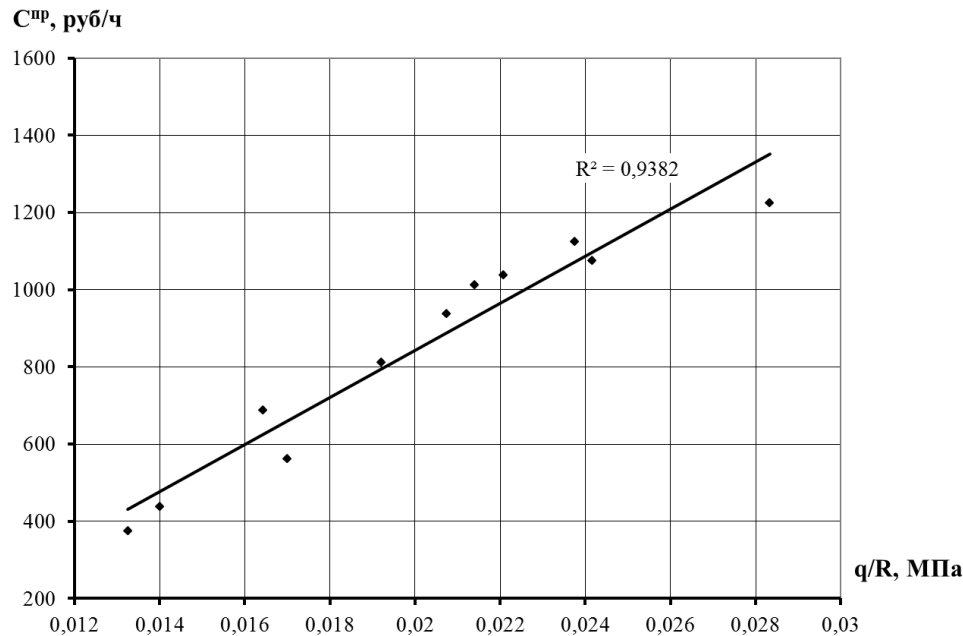


Рис. 3. Зависимость арендной стоимости дорожного катка от развиваемого им силового воздействия на покрытие

С учетом (7) уравнение (6) преобразуется к виду

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

Программная реализация

На рис. 4 приведена блок-схема алгоритма, реализующего выбор оптимального комплекта по критерию минимальной себестоимости выполнения работ по уплотнению асфальтобетонного покрытия. На данной схеме n – количество моделей дорожных катков, введенных пользователем для составления оптимального комплекта.

Разработанный алгоритм был реализован в виде программного комплекса с учетом теоретических методов формирования программного продукта выбора дорожных катков, описанных в [9]. Окно ввода исходной информации программного комплекса приведено на рисунке 5, а окно результатов работы комплекса – на рисунке 6.

На рисунке 5 приведен случай расчета эффективных режимов работы имеющегося в наличии у пользователя комплекта дорожных катков. Кроме этого, программный комплекс обладает функцией выбора оптимального состава комплекта из ассортимента моделей катков, заданных пользователем. Данная функция позволяет осуществить оптимальное комплектование парка уплотняющей техники для заданных условий производства работ.

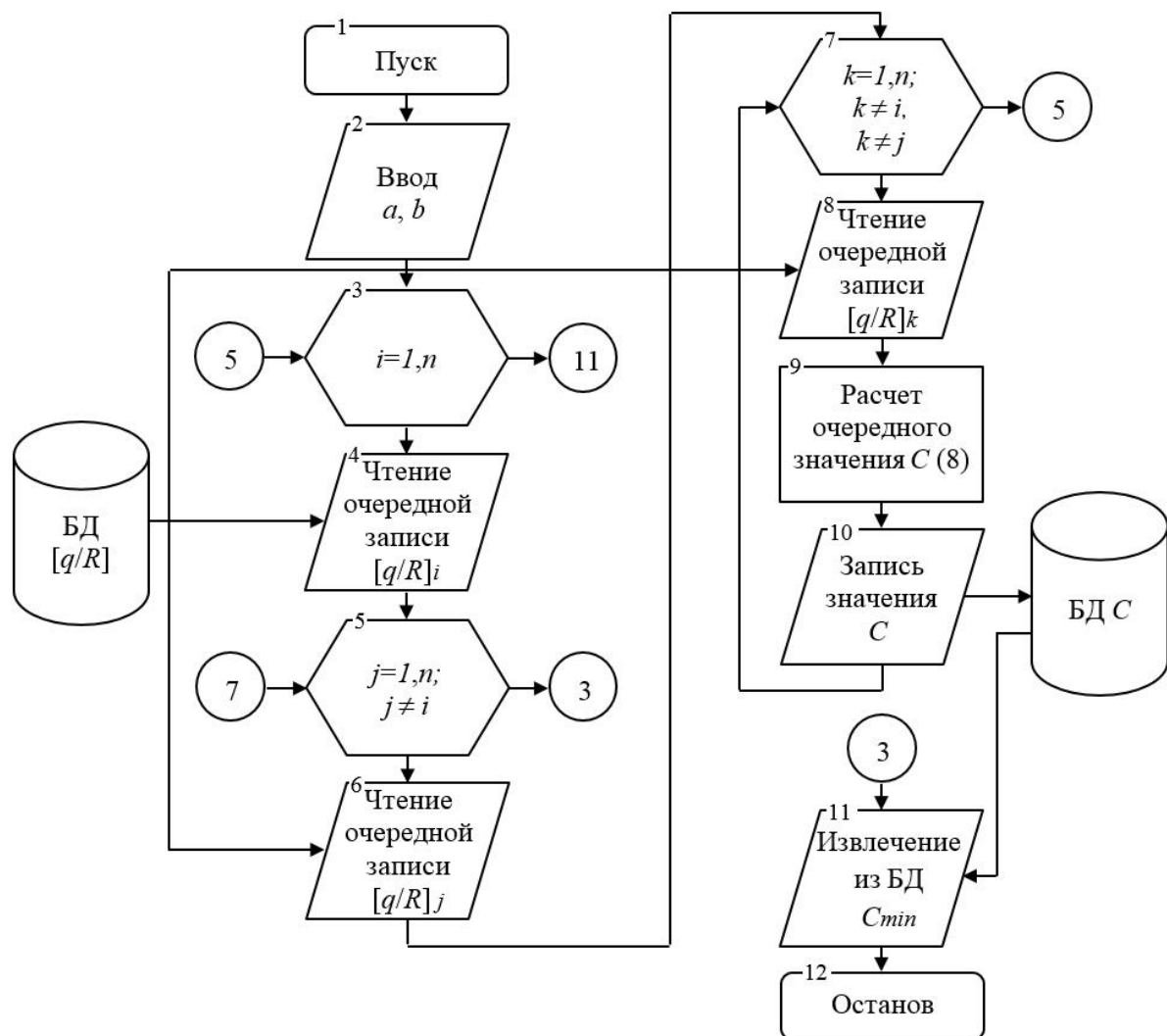


Рис. 4. Упрощенная блок схема алгоритма выбора оптимального комплекта

The screenshot shows the 'ROLLER KIT' software window. On the left, there is an 'Input data' section with fields for 'Asphalt concrete mix type' (set to 5), 'Finished coating thickness, sm' (set to 5), 'Air temperature, degrees Celsius' (set to 26), and 'Wind speed, m/s' (set to 4). Below this is a 'Manual input' section with 'Number of rollers' (set to 3) and a 'Start typing' button. Further down are 'Paste from clipboard' buttons ('Paste' and 'Clear form') and a 'Calculate' button. At the bottom are 'About' and 'Exit' buttons. On the right, there is a table titled 'Roller parameters' with columns: 'Roller parameters', 'Drum weight, kg', 'Drum width, sm', and 'Drum radius, sm'. The table contains three rows of data for different rollers.

Roller parameters	Drum weight, kg	Drum width, sm	Drum radius, sm
Roller №1	1380	120	33,75
Roller №2	4375	168	61
Roller №3	4100	145	56

Рис. 5. Окно ввода исходных данных для выполнения расчета

The screenshot shows the 'Calculation results' window. It contains the text: 'The optimal operation mode of ROLLERS KIT is:' followed by three lines of data for different roller models: SAKAI SW350, VOLVO DD85, and DYNAPAC CG233HF, each with their respective Tstart and Tfinish values in degrees Celsius. An 'OK' button is located at the bottom right.

The optimal operation mode of ROLLERS KIT is:

SAKAI SW350 - Tstart = 120 oC; Tfinish = 102 oC
 VOLVO DD85 - Tstart = 94 oC; Tfinish = 82 oC
 DYNAPAC CG233HF - Tstart = 78 oC; Tfinish = 69 oC

Рис. 6. Результаты расчета программы на ЭВМ

Выводы

Предлагаемый программный комплекс был использован для назначения режимов работы уплотняющей техники на экспериментальном участке строительства автомобильной дороги в г. Хабаровске. В ходе исследования свойств полученного покрытия экспериментального участка установлено их соответствие требованиям [3]. Это позволяет сделать вывод о качественно выполненных работах.

Разработанный алгоритм, реализованный в виде программы на ЭВМ, позволяет:

- выбирать оптимальные режимы работы имеющейся в наличии уплотняющей техники с учетом внешних условий;

- формировать парк техники для эффективного выполнения операции уплотнения в заданных условиях производства работ.

Список литературы

1. Шишкин, Е.А. Моделирование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси комплектом катков / Е.А. Шишкин, С.Н. Иванченко // Механики XXI века. – 2006. – № 5. – С. 65-68.
2. Шишкин, Е.А. К вопросу выбора конструктивных параметров дорожного катка при уплотнении асфальтобетонной смеси / Е.А. Шишкин // Механики XXI века. – 2013. – № 12. – С. 82-84.
3. Захаренко, А.В. Уплотняющее давление вальцов дорожного катка / А.В. Захаренко // Строительные и дорожные машины. – 2005. – №2. – С. 24–26.
4. Пермяков, В.Б. Влияние режимных параметров катков на интенсивность уплотнения асфальтобетонных смесей / В.Б. Пермяков, К.В. Беляев // Строительные и дорожные машины. – 2007. – №1. – С. 19-22.
5. Иванов, В.Н. Влияние параметров катков на качество уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожных покрытиях / В.Н. Иванов, Л.С. Трофимова, Ф.В. Линева // Механизация строительства. – 2012. – № 8(818). – С. 11-13.
6. Сергеева, Т.Н. Исследование взаимодействия вальца катка с асфальтобетонным слоем при его уплотнении: дис. ... канд. техн. наук / Т.Н. Сергеева. – Л., 1981. – 144 с.
7. Носов, С.В. Определение рациональных контактных давлений под вальцом катка при уплотнении асфальтобетонных смесей / С.В. Носов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 4(44). – С. 99-106.
8. Иноземцев, А.А. Битумно-минеральные материалы / А.А. Иноземцев. – Л.: Стройиздат, 1972. – 152 с.
9. Кустарев, Г.В. Особенности формирования программного продукта выбора вибрационных катков / Г.В. Кустарев, В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // Строительные и дорожные машины. – 2017. – №6. – С. 36-41.

References

1. Shishkin E.A. *Mekhaniki XXI veku*, 2006, no. 5, pp. 65–68.
2. Shishkin E.A. *Mekhaniki XXI veku*, 2013, no. 12, pp. 82–84.
3. Zaharenko A.V. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2005, no. 2, pp. 24–26.
4. Permyakov V.B. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2007, no. 1, pp. 19–22.

5. Ivanov V.N. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2012, no. 8(818), pp. 11–13.
6. Sergeeva T.N. *Issledovanie vzaimodejstviya val'ca katka s asfal'tobetonnyy sloem pri ego uplotnenii* (Investigation of the interaction of a roller of a roller with an asphalt concrete layer during its compaction) Doctor sthesis, Leningrad, 1981, 144 p.
7. Nosov S.V. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, no. 4(44), pp. 99–106.
8. Inozemcev A.A. *Bitumno-mineral'nye materialy* (Bituminous mineral materials), Leningrad, Strojizdat, 1972, 152 p.
9. Kustarev G.V. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2017, no. 6, pp. 36–41.

Рецензент: Г.Г. Воскресенский, д-р техн. наук, проф., ТОГУ