DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-50
УДК 625.7/8

О. О. Фоменко
асистент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4429-1706
Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002
А. В. Сєдов*
к.т.н., доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7879-6614
Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: avs.1708@ukr.net

Визначення раціональних режимів роботи котків при ущільненні асфальтобетонних покриттів з метою підвищення їх довговічності

Цитувати як:
Фоменко, О. О., Сєдов, А. В. (2025). Визначення раціональних режимів роботи котків при ущільненні асфальтобетонних покриттів з метою підвищення їх довговічності. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 588-598. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-50

© 2025, Фоменко О. О., Сєдов А. В.

Міцність та довговічність асфальтобетону як типового багатокомпонентного матеріалу залежить від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і вимагає врахування різноманітних факторів: основні з них – температурні параметри суміші та режим ущільнення. У статті наведена інформаційно-функціональна схема виробничо-технологічних факторів процесу ущільнення, що впливають на якість асфальтобетонних покриттів Структура асфальтобетону, що визначає його міцність та довговічність, значною мірою формується в результаті ущільнення. Сутність ущільнення полягає у збільшенні кількості зв'язків у матеріалі та зміцненні їх. Чим більша насиченість зв'язками одиниці об'єму матеріалу і міцніше ці зв'язки, тим міцніше шар з асфальтобетонної суміші. Режими ущільнення асфальтобетонного покриття - це комплекс технологічних параметрів, що включають температурний режим, тип і масу техніки, що ущільнює, а також послідовність і кількість проходів котків, спрямованих на досягнення необхідного коефіцієнта ущільнення

Кожний коток використовується в певному інтервалі температури і щільності асфальтобетонної суміші, коли її параметри дозволяють досягати найбільшого ефекту ущільнення за умови відсутності руйнування шару, що ущільняється. Максимальне ущільнення суміші досягається, коли пластичні деформації розвиваються поступово на всю глибину шару.

Розглянуті в статті області роботи котків є основою для вибору комплектів (ланок) ущільнюючих машин та організації їх роботи за раціональними

технологічними схемами ущільнення. Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплекту (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, ущільнення, температура, однорідність, структура, міцність, довговічність.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Найбільш широке застосування у дорожньому будівництві знайшли гарячі асфальтобетонні суміші. Покриття з цього матеріалу більш стійкі до дії транспортних навантажень і атмосферних факторів [1]. Найважливіша особливість покриттів з гарячої асфальтобетонної суміші – короткий термін їх формування, що пов'язано зі швидким наростанням в'язкості бітуму в процесі охолодження [2]. Так, у діапазоні температур 130-70 °С коефіцієнт в'язкості, в залежності від марки бітуму, збільшується в 5-10 разів. Ця обставина диктує необхідність проведення всіх робіт з доставки суміші, її укладання та ущільнення в стислі терміни. Для влаштування дорожнього покриття існуючою нормативно-технічною документацією регламентується використання комплектів машин: автосамоскидів, асфальтоукладача і котків різних типорозмірів [3]. Щільність, міцність та довговічність асфальтобетонного покриття значною мірою визначаються якістю ущільнення суміші. Отримання високої щільності асфальтобетонного покриття забезпечується відповідною якістю асфальтобетонної суміші та її температурою, вибором параметрів та режимів роботи котків, технологією ущільнення шару [4].

Мета і завдання дослідження. Міцність та довговічність асфальтобетонного покриття як багатокомпонентного матеріалу залежить від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і вимагає врахування різноманітних факторів: основні з них – температурні параметри суміші та режим ущільнення. Метою роботи є аналіз процесу ущільнення асфальтобетонних сумішей на основі обліку температури суміші та характеру діючих навантажень, що забезпечують обґрунтований вибір засобів ущільнення та раціональних технологічних режимів їх роботи.

Матеріали та методи

Методологічною основою для вирішення поставлених завдань є системний підхід у вивченні технології ущільнення асфальтобетонних покриттів Якість покриттів залежить від однорідності структури асфальтобетону, що формується під дією двох взаємопов'язаних факторів – ущільнюючого навантаження та температури.

Результати та обговорення

Аналіз технологічних процесів при будівництві асфальтобетонних покриттів, зовнішніх впливів, варіантів комплектації загонів дорожніх машин (асфальтоукладальників, дорожніх котків) та їх режимних параметрів, асфальтобетонних сумішей, показників якості ущільнення асфальтобетонних сумішей, дає можливість представити схему (рис. 1) виробничо-технологічних чинників процесу ущільнення, які впливають на якість асфальтобетонних покриттів.

Рис.1. Інформаційно-функціональна схема виробничо-технологічних факторів процесу ущільнення, що впливають на якість асфальтобетонних покриттів

Серед відомих показників якості готового асфальтобетонного покриття можна виділити коефіцієнт ущільнення, який дає інтегральну оцінку ущільнення та за дотриманням нормативних показників, дозволяє зробити прогноз про високу якість асфальтобетонних покриттів.

Дорожні котки для ущільнення асфальтобетонних сумішей можна розділити за характером силового впливу на середовище, що ущільняється на (рис. 2) [5]:

– машини статичної дії (котки з гладкими металевими вальцями; котки на пневматичних шинах);

– машини динамічної дії (вібраційні котки з металевими вальцями; котки осцилюючої дії);

– машини комбінованої дії (поєднання вібраційного та пневматичного робочого органу).

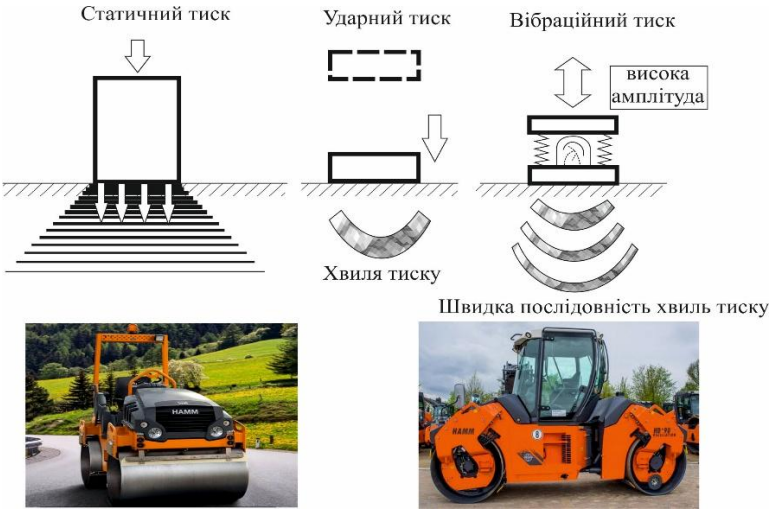
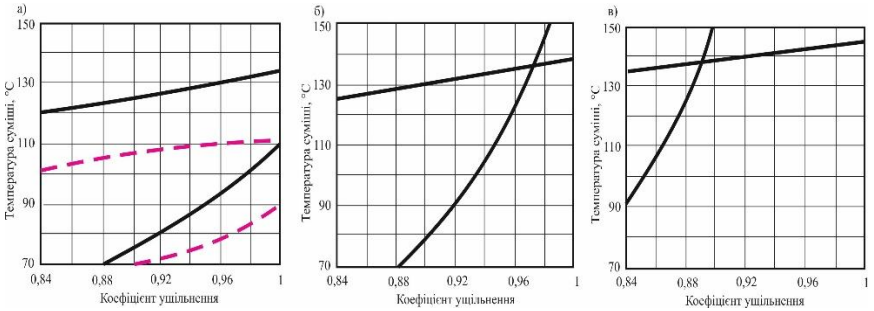


Рис. 2. Різновиди методів ущільнення

Кожний коток використовується в певному інтервалі температури і щільності асфальтобетонної суміші, коли її параметри дозволяють досягати найбільшого ефекту ущільнення за умови відсутності руйнування шару, що ущільняється. Максимальне ущільнення суміші досягається, коли пластичні деформації розвиваються поступово на всю глибину шару [6, 7].

Характер зміни області раціональної роботи від товщини шару, що ущільняється, можна простежити на прикладі котка Dynapac CC232HF. Аналіз залежностей (рис. 3) показує, що з збільшенням товщини шару площа можливої області роботи зменшується. При цьому верхня межа області, що визначає міцність шару, трохи піднімається. При $K_у$=0,86 (щільність після укладача) зі зміною товщини шару з 5 см до 10 см межа виходить з 122 °С до 136 °С. Суттєвіше зсувається нижня межа. Так, якщо при товщині шару 5 см котком Dynapac CC232HF можна досягти необхідного коефіцієнта ущільнення, то при товщині 7 см і 10 см максимальний коефіцієнт ущільнення становить відповідно 0,97 і 0,89. Це говорить про те, що використовувати Dynapac CC232HF як коток статичної дії при ущільненні шару 10 см недоцільно. Крім того, зі збільшенням товщини шару для досягнення необхідної щільності слід починати ущільнення при більш високих температурах.

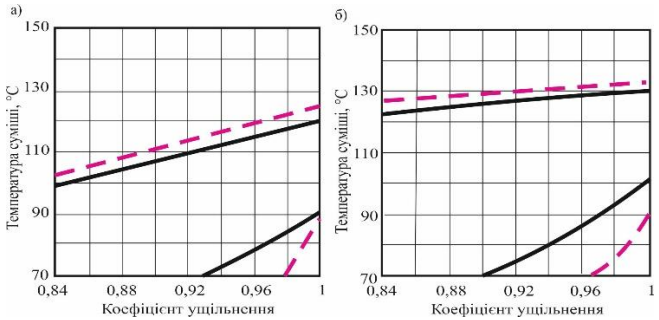


товщина шару дрібнозернистої суміші: а) – 5 см; б) – 7 см; в) – 10 см;
статичний режим –суцільна лінія; вібраційний режим – пунктирна лінія

Рис. 3. Області раціональної роботи котка Dynapac CC232HF

Область раціональної роботи котка Dynapac CC232HF з включеним віброзбудником показана на рис. 3а, пунктирними лініями. При цьому відмінною особливістю є можливість роботи котка за нижчих температур: від 80°С до 100 °С. Однак нормативну щільність віброкоток дозволяє досягати при температурі вище 85 °С. Працюючи без вібрації, Dynapac CC232HF дозволяє досягти нормативної щільності на дрібнозернистій суміші товщиною 5 см лише за температури понад 100 °С.

Аналізуючи рис. 3а і рис. 4а, можна помітити, що зі збільшенням лінійного тиску котка, область раціональної роботи зміщується у бік нижчих температур і високих щільностей асфальтобетону.



а) коток DYNAPAC CS1400; б) пневмокоток XP163; дрібнозерниста суміш – суцільна лінія; піщана суміш – пунктирна лінія

Рис. 4. Області раціональної роботи котків DYNAPAC CS1400 і XP163 при товщині шару 5 см

Ця обставина добре узгоджується з тим положенням, що в процесі ущільнення та охолодження суміші необхідно переходити до більш важких

котків. Коток DYNAPAC CS1400, що має високий лінійний тиск, можна застосовувати тільки при температурах не вище 110-120 °С (рис. 4а).

Пневмокотком XP163 можна починати ущільнення дрібнозернистої суміші при $T \approx 125$ °С і досягати $K_у = 0{,}98$ при $T \geq 95$ °С (рис. 4б). При температурі нижче коток XP163 застосовувати не рекомендується через неможливість ущільнення шару по всій глибині.

Розглянуті вище області роботи котків є основою для вибору комплектів (ланок) ущільнюючих машин та організації їх роботи за раціональними технологічними схемами ущільнення. Однак для практичного використання отримані дані зручно представляти у вигляді залежності коефіцієнта ущільнення від кількості проходів котка:

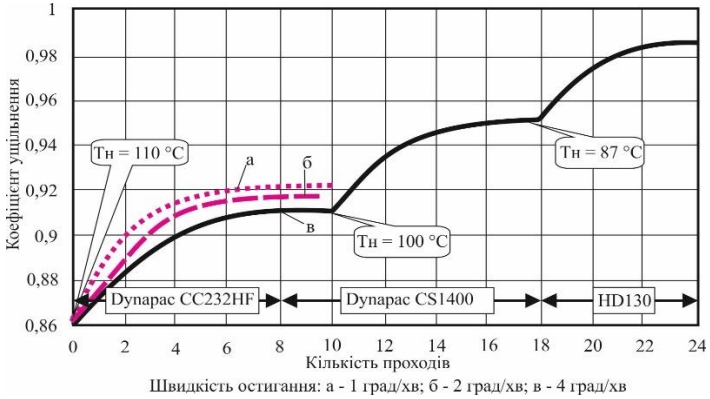
$$K_у = f(n), \tag{1}$$

де n – число проходів котка по одному сліду.

У роботі [8] були розраховані раціональні технологічні схеми ущільнення шару дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 5 см.

Перша ланка включала котки Dynapac CC232HF, Dynapac CS1400 та HAMM HD130, друга – котки XP163 та Dynapac CS1400, третя – котки Dynapac CC232HF та HAMM HD130. У третій ланці Dynapac CC232HF працював на початку ущільнення як статичний, а потім як вібраційний коток.

Раціональні технологічні схеми роботи трьох різних ланок представлені на рисунках 5 та 6.



Швидкість остигання: а – 1 град/хв; б – 2 град/хв; в – 4 град/хв

Рис. 5. Раціональна технологічна схема роботи ланки котків

На графіках вказані зони роботи котків та температури початку ущільнення. З рис. 5 видно, що обрана схема ущільнення дозволяє досягати

22 проходами проти загальноприйнятих для такої ланки від 26 проходів до 30 проходів.

На рисунку крива "в" отримана при швидкості остигання асфальтобетонного покриття – 4 °С/хв. Якщо з будь-якої причини швидкість остигання буде меншою, то ефективність ущільнення зросте. Це підтверджується кривими "а" та "б", які відповідають швидкостям остигання 1 °С/хв і 2 °С/хв.

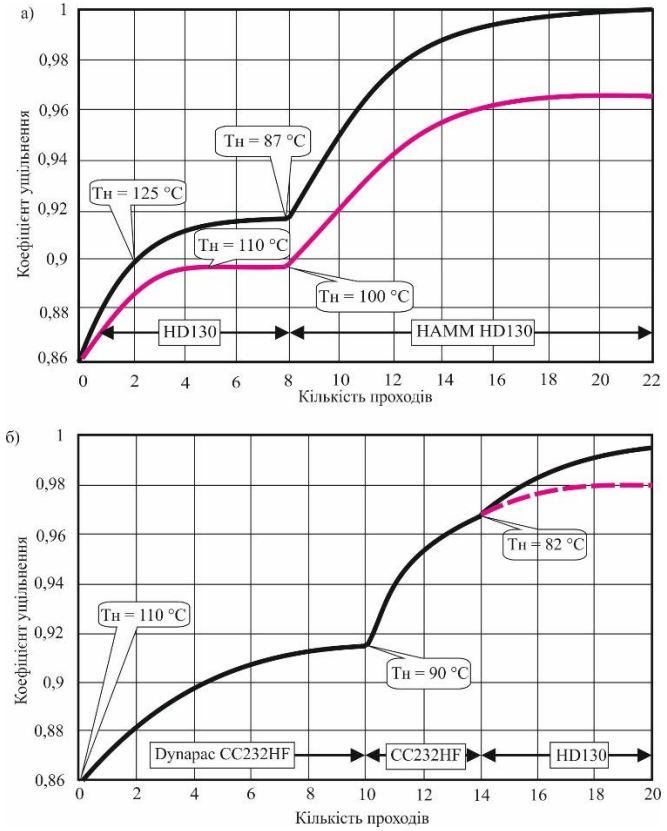


Рисунок 6 – Раціональні технологічні схеми роботи ланок котків

На рис. 6а показані дві технологічні схеми ущільнення ланкою, що складається з пневмокотка XP163 та важкого котка HAMM HD130. Схеми розрізняються лише параметрами асфальтобетонної суміші на початку ущільнення.

Так, якщо починати ущільнення при температурі 110 °С і ця ланка котків не забезпечить необхідної якості ущільнення. Але, якщо почати

ущільнення котком XP163 при граничній для нього температурі 125 °С, значення $K_у$ = 0,98 можна досягти за 14 проходів.

За певних технологічних умов нормативної щільності можна досягти за 18 проходів, використовуючи лише коток Dynapac CC232HF. Для цього слід здійснити спочатку 10 проходів з відключеним віброзбудником, а потім, увімкнувши його, зробити інші проходи. Однак для досягнення необхідної рівності покриття в ланку додають важкий коток HAMM HD130. У цьому випадку раціональна технологічна схема набуде вигляду, вказаного на рис. 6б.

Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплекту (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Висновки

Якість ущільнення асфальтобетонної суміші залежить, в основному, від її складу, температури та товщини шару, що ущільняється. Внаслідок наростання щільності та зниження температури суміші в ході ущільнення безперервно зростають її жорсткість і міцність, що обумовлює, з одного боку, необхідність, а з іншого, можливість постійного підвищення навантаження, що ущільнює.

На основі проведеного аналізу парку котків для асфальтобетону, можна зробити висновок про те, що дорожні котки, що застосовуються в даний час, мають недостатню універсальність і не можуть виконувати ущільнення суміші протягом всього процесу ущільнення через їх вузький діапазон регулювання силових впливів, що надаються на шар. Внаслідок цього виникає необхідність утримання великого парку дорожніх машин, а також зберігається потреба у використанні комплекту котків з різними контактними тисками, що надаються на матеріал, що ущільняється, з постійно змінюваними фізико-механічними властивостями.

Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплекту (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Garkusha M. V. Modern aspects of increasing the rut resistance of non-rigid road surfaces / Mozgovy V. V., Onyshchenko A. M., Garkusha M. V., Aksyonov S. Yu. // Avtoshlyakhovyk Ukrainy. – Kyiv – 2012 - No. 5 – P. 25-30.

2. Bihun G. G., Karasyova L. O., Andrusyk Y. F. Assessment of the resistance of road surfaces to wave formation. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4537/3-10-14.pdf. (access date: 19.09.2025).

3. Warsame A (2013) Framework for Quality Improvement of Infrastructure Projects. J Civil Eng Archit 7(12)

4. Kutsman O. M., Mozgovyi V. V., Onyshchenko A. M., Olkhovyi B. Yu., Oproshchenko I. O., Baran S. A., Riznichenko O. S. Assessment of the durability of asphalt concrete pavement by testing asphalt concrete for resistance to accumulation of residual deformations. // Bulletin of NTU. Series "Technical Sciences": scientific-technical collection. 2016. Issue 1 (34). P.283-293.

5. Features of asphalt compaction using a roller. URL: https://sem-ua.com/about/news/osoblivosti-ushchilnennya-asfaltu-za-dopomogoyu-kotka/. (access date: 17.09.2025).

6. Kopynets I. V., Sokolov O. V., Zheltobryukh A. D., Golovchenko V. S., Dependence of volumetric properties of asphalt concrete on the largest nominal size of aggregate grains and compaction method. Roads and bridges. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 91–110.

7. Baran S. A., Mozgovyi V. V., Onyshchenko A. M., Kutzman O. M. Design modulus of elasticity of asphalt concrete // Highways and road construction: scientific and technical collection. Kyiv. 2017. Issue 100. P. 68-76.

8. Zhdanyuk V. K., Kostin D. Yu. Research of design characteristics of crushed stone-mastic asphalt concretes. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference with the Participation of Young Scientists “Environmental, Legal and Economic Aspects of the Ecological Safety of Regions”. Kharkiv. 2011. P.196-200.

Література

1. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. – Київ – 2012 - № 5 – С. 25-30.

2. Бігун Г.Г., Карасьова Л.О., Андрусик Я.Ф. Оцінка стійкості дорожнього одягу проти хвилеутворення. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4537/3-10-14.pdf. (дата звернення: 19.09.2025 р).

3. Warsame A (2013) Framework for Quality Improvement of Infrastructure Projects. J Civil Eng Archit 7(12)

4. Куцман О. М., Мозговий В. В., Онищенко А. М., Ольховий Б. Ю., Опрощенко І. О., Баран С. А., Різніченко О. С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. 2016. Вип. 1 (34). С.283-293.

5. Особливості ущільнення асфальту за допомогою котка. URL: https://sem-ua.com/about/news/osoblivosti-ushchilnennya-asfaltu-za-dopomogoyu-kotka/. (дата звернення: 17.09.2025 р).

6. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С., Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110.

7. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2017. Вип. 100. С.68-76.

8. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів. Матеріали VI Міжнародної науковопрактичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів». Харків. 2011. С.196-200.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. O. Fomenko
assistant, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4429-1706
Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

A. V. Siedov*
Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7879-6614
Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: avs.1708@ukr.net

Determination of rational operating modes of rollers when compacting asphalt concrete pavements in order to increase their durability

How to Cite:
Fomenko, O. O., Siedov, A. V. (2025). Determination of rational operating modes of rollers when compacting asphalt concrete pavements in order to increase their durability. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 588-598. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-50

Abstract. The strength and durability of asphalt concrete as a typical multi-component material depends on the homogeneity of its structure, the process of formation of which is very complex and requires consideration of various factors: the main ones are the temperature parameters of the mixture and the compaction mode. The article presents an information-functional scheme of production and technological factors of the compaction process that affect the quality of asphalt concrete pavements. The structure of asphalt concrete, which determines its strength and durability, is largely formed as a result of compaction.

The essence of compaction is to increase the number of bonds in the material and strengthen them. The greater the saturation of bonds per unit volume of the material and the stronger these bonds, the stronger the layer of asphalt concrete mixture.

Asphalt concrete pavement compaction modes are a set of technological parameters, including temperature, type and mass of compacting equipment, as well as the sequence and number of passes of rollers aimed at achieving the required compaction coefficient.

Each roller is used in a certain range of temperature and density of the asphalt concrete mixture, when its parameters allow achieving the greatest compaction effect in the absence of destruction of the compacted layer. Maximum compaction of the mixture is achieved when plastic deformations develop gradually over the entire depth of the layer.

The areas of operation of rollers considered in the article are the basis for selecting sets (units) of compacting machines and organizing their work according to rational technological compaction schemes. Thus, the presented results allow assessing the capabilities of any roller, determining its place in the technological process and selecting the optimal composition of the set (unit) of rollers, bearing in mind that in this case the rollers operate in the optimal mode.

Keywords: asphalt concrete pavement, compaction, temperature, uniformity, structure, strength, durability.