




RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	World Science
p-ISSN	2413-1032
e-ISSN	2414-6404
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland
ARTICLE TITLE	DETERMINATION OF THE WEIGHT OF FACTORS AFFECTING THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WARM ASPHALT CONCRETE MIXTURES
AUTHOR(S)	Mudrychenko Anatolii, Savenko Vyacheslav, Illiash Sergii, Honcharenko Valentyn
ARTICLE INFO	Mudrychenko Anatolii, Savenko Vyacheslav, Illiash Sergii, Honcharenko Valentyn. (2024) Determination of the Weight of Factors Affecting the Physical and Mechanical Characteristics of Warm Asphalt Concrete Mixtures. <i>World Science</i> . 1(83). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116
RECEIVED	04 February 2024
ACCEPTED	06 March 2024
PUBLISHED	08 March 2024
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2024. This publication is an open access article.

DETERMINATION OF THE WEIGHT OF FACTORS AFFECTING THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WARM ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Mudrychenko Anatolii

Deputy head of department of technologies of road works of M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9787-2523

Savenko Vyacheslav

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department Department of Transport Construction and Property Management National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8174-7728

Illiash Sergii

Head of center for road materials and technologies of M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9787-2523

Honcharenko Valentyn

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department Department of Transport Construction and Property Management National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-4240-054X

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116

ARTICLE INFO

Received: 04 February 2024
Accepted: 06 March 2024
Published: 08 March 2024

KEYWORDS

Asphalt Concrete Mixtures, Energy-Saving Additive, Asphalt Concrete Crumb, Temperature, Physical and Mechanical Indicators.

ABSTRACT

The article examines the main factors that affect the physical and mechanical characteristics of warm asphalt concrete mixtures. When establishing the most important factors, the method of expert assessments was used. The general scheme of expert surveys included the following stages: selection of experts; formation of questions and compilation of questionnaires; work with experts; formation of rules for determining total scores based on the scores of individual experts; analysis and processing of expert assessments. The main technological and technical parameters were accepted as factors included in the survey. The selection of parameters is based on the analysis of literary sources, taking into account the requirements of national standards [1]. Based on the results of research, it was found that the most significant factors are the temperature of mixing the mixture during preparation, the quantitative content of the energy-saving additive and the amount of asphalt concrete crumb.

Citation: Mudrychenko Anatolii, Savenko Vyacheslav, Illiash Sergii, Honcharenko Valentyn. (2024) Determination of the Weight of Factors Affecting the Physical and Mechanical Characteristics of Warm Asphalt Concrete Mixtures. *World Science*. 1(83). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116

Copyright: © 2024 **Mudrychenko Anatolii, Savenko Vyacheslav, Illiash Sergii, Honcharenko Valentyn.** This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

1. Вступ.

За останні роки в Європі та США з'явилися нові технології, що дозволяють знизити температуру приготування гарячих асфальтобетонних сумішей на 20-40 °С без погіршення міцнісних характеристик покриття в порівнянні з традиційним гарячим асфальтобетоном, що приготовлений на тому ж бітумі. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення. За такими сумішами закріпили аббревіатуру WMA (Warm Mix Asphalt), тобто теплі асфальтобетони.

Використання технологій теплих асфальтобетонів дає ряд переваг:

- екологічні аспекти та питання економії енергоресурсів, тобто зниження витрат енергії та зниження викидів CO₂;
- можливість укласти дорожнє покриття при нижчих температурах і при цьому забезпечувати необхідну щільність покриття;
- можливість транспортувати суміші на довші відстані і при цьому зберігати рухомість при укладанні та ущільненні;
- можливість ущільнювати суміш з меншим зусиллям (за типових умов, а не в холодну погоду або при тривалому транспортуванні);
- включати більшу кількість фрезерованого матеріалу в суміш;
- укласти товсті шари і забезпечувати відкриття дороги для транспорту в найкоротші терміни;
- покращені умови праці робітників, особливо працюючих з литим або мас-тиковим асфальтобетоном.

Очевидно, що використання технологій теплих асфальтобетонів може дати ряд суттєвих переваг у порівнянні із традиційними гарячими технологіями. Проте головним питанням на сьогодні є питання надійності та довговічності покриттів із теплих асфальтобетонів. Дана група технологій є відносно молодю, а тому бракує перш за все практичного досвіду її використання.

Фізико-механічні характеристики асфальтобетону в інтервалі температур так званих теплих сумішей досліджено в недостатньо повній мірі.

На характеристики асфальтобетону впливають безліч факторів, таких як: температура перемішування суміші при приготуванні, вміст бітуму, вміст енергозберігаючої добавки, зерновий склад мінеральної частини суміші, тривалість перемішування суміші при приготуванні, температура бітуму, кількість асфальтобетонної крихти, температура ущільнення суміші, однорідність перемішування, взаємодія бітуму та мінеральних матеріалів [2, 3, 4].

2. Методика проведення досліджень.

З метою встановлення найбільш вагомих факторів, що впливають на фізико-механічні показники теплового асфальтобетону використаний метод експертних оцінок.

Загальна схема експертних опитувань включала наступні етапи: підбір експертів; формування питань і складання анкет; робота з експертами; формування правил визначення сумарних оцінок на основі оцінок окремих експертів; аналіз і обробка експертних оцінок.

В якості факторів, що включені в опитування були прийняті основні технологічні та технічні параметри (табл.1). Вибір параметрів здійснений на основі аналізу літературних джерел з урахуванням вимог [1].

3. Результати досліджень та обговорення.

Таблиця 1. Фактори та їх кодовані позначення.

Досліджувана змінна (фактор)	Позначення фактору
Температура перемішування суміші при приготуванні	X ₁
Вміст бітуму	X ₂
Вміст енергозберігаючої добавки	X ₃
Зерновий склад	X ₄
Тривалість перемішування суміші при приготуванні	X ₅
Температура бітуму	X ₆
Кількість асфальтобетонної крихти	X ₇
Температура ущільнення суміші	X ₈
Однорідність перемішування	X ₉

В опитуванні прийняли участь 10 експертів. На основі даних анкетного опитування складена зведена матриця рангів (табл. 2).

Таблиця 2. Зведена матриця рангів.

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Ранги факторів, що включені в опитування								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	2	1	5	8	4	7	3	9	6
2	1	2	6	3	5	9	4	8	7
3	2	4	2	6	1	9	5	8	7
4	3	5	1	7	4	8	2	5	9
5	4	1	2	7	6	5	3	9	8
6	2	3	4	8	5	6	1	9	7
7	3	4	4	6	5	7	1	8	9
8	1	4	3	7	8	9	1	6	5
9	1	4	2	6	7	9	3	5	8
10	2	5	1	8	6	7	3	9	4
Сума рангів по факторах $\sum_{j=1}^n a_{ji}$	21	33	30	66	51	76	26	76	70
Умовний ранг факторів по сумі рангів a_i	1	4	3	6	5	7	2	8	9

a_i – ранг i -го фактора у j -го опитуваного фахівця, n – кількість опитуваних фахівців.

Враховуючи, що деякі експерти не змогли розділити ступінь впливу певних факторів і поставили однакові ранги виконується перетворення рангів. З цією метою кожен однаковий ранг j -го фахівця замінюється перетвореним, що обчислюється за співвідношенням:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} (k_2 + i)}{k_1}, \quad (1)$$

де k_1 - число однакових рангів у відповідній групі рангів для визначеного опитуваного фахівця;

k_2 - кількість факторів, які розташовані попереду групи факторів з однаковими рангами.

Інші ранги замінюються порядковим номером фактора у ранжированому ряді. Так як в матриці є пов'язані ранги (однаковий ранговий номер) в оцінках 2-го експерта, зробимо їх перетворення (табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Перетворення пов'язаних рангів в оцінках 3-го експерта.

Фактори, включені в опитування	X ₅	X ₁	X ₃	X ₂	X ₅	X ₄	X ₉	X ₈	X ₆
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	2	4	5	6	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1	2,5	2,5	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.3 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 2,5$.

Таблиця 2.4 – Перетворення пов'язаних рангів в оцінках 4-го експерта.

Фактори, включені в опитування	X ₃	X ₇	X ₁	X ₅	X ₂	X ₈	X ₁	X ₇	X ₂
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	3	4	5	5	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1	2	3	4	5,5	5,5	7	8	9

У таблиці 2.4 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 5,5$.

Таблиця 2.5 – Перетворення пов'язаних рангів в оцінках 7-го експерта.

Фактори, включені в опитування	X ₃	X ₇	X ₁	X ₂	X ₅	X ₄	X ₆	X ₈	X ₉
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	2	4	5	6	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1,5	1,5	3	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.5 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 1,5$.

Таблиця 2.6 – Переформування пов'язаних рангів в оцінках 8-го експерта.

Фактори, включені в опитування	X ₁	X ₇	X ₃	X ₂	X ₉	X ₈	X ₄	X ₅	X ₆
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	3	4	5	5	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1,5	1,5	3	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.6 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 1,5$. Перетворені ранги наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Перетворені ранги.

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Зв'язані ранги факторів, що включені в опитування									Сума рангів по фахівцях $\sum_{i=1}^k b_{ji}$	Чисельність однакових рангів η_r	T_j
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉			
1	2,0	1,0	5,0	8,0	4,0	7,0	3,0	9,0	6,0	45	-	-
2	1,0	2,0	6,0	3,0	5,0	9,0	4,0	8,0	7,0	45	-	-
3	2,5	4,0	2,5	6,0	1,0	9,0	5,0	8,0	7,0	45	2	6
4	3,0	5,5	1,0	7,0	4,0	8,0	2,0	5,5	9,0	45	2	6
5	4,0	1,0	2,0	7,0	6,0	5,0	3,0	9,0	8,0	45	-	-
6	2,0	3,0	4,0	8,0	5,0	6,0	1,0	9,0	7,0	45	-	-
7	3,0	4,0	1,5	6,0	5,0	7,0	1,5	8,0	9,0	45	2	6
8	1,5	4,0	3,0	7,0	8,0	9,0	1,5	6,0	5,0	45	2	6
9	1,0	4,0	2,0	6,0	7,0	9,0	3,0	5,0	8,0	45	-	-
10	2,0	5,0	1,0	8,0	6,0	7,0	3,0	9,0	4,0	45	-	-
Сума рангів по факторах $\sum_{j=1}^n b_{ji}$	22,0	33,5	28,0	66,0	51,0	76,0	27,0	76,5	70,0	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n b_{ij} = 450$		$\sum_{j=1}^n T_j = 24$
Умовний ранг по сумі рангів β_i	1	4	3	6	5	8	2	9	7			
Відхилення суми рангів від середнього Δ_i	-28,0	-16,5	-22,0	16,0	1,0	26,0	-23,0	26,5	20,0	$\sum_{j=1}^n \Delta_i = 0$		
Квадрати відхилень Δ_i^2	784,0	272,3	484,0	256,0	1,0	676,0	529,0	702,3	400,0	$\sum_{j=1}^n \Delta_i^2 = 4104$		

Перевірка правильності складання матриці на основі обчислення контрольної суми визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^k b_{ji} = \frac{(1+k) \times k}{2}, \quad (2)$$

де k – кількість досліджуваних факторів.

Наступним етапом є аналіз значимості досліджуваних факторів. Таблиця 3 показує, що найбільш значимими факторами є X_1 , X_3 та X_7 , найменш значимим – X_8 .

Для оцінки узагальненої міри узгодженості думок по всім факторам необхідно розрахувати коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12 \times \sum_{j=1}^n \Delta_i^2}{(n^2(k^3 - k) - n \times \sum_{j=1}^n T_j)}, \quad (3)$$

де

$$T_i = \sum_{r=1}^{l_j} (\eta_r^3 - \eta_r), \quad (4)$$

де η_r - чисельність груп однакових рангів j -го фахівця; l_j - кількість груп однакових рангів j -го фахівця.

Коефіцієнт конкордації для даної матриці значень становить 0,68. При повній погодженості фахівців в оцінці поставленої задачі $W=1$, а при повній відсутності погодженості $W=0$. $W=0,68$ вказує на наявність середнього ступеня узгодженості думок експертів.

З метою оцінки вагомості коефіцієнта конкордації розраховується критерій узгодження Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_i^2}{\frac{1}{12} (n \times k \times (k + 1) - \frac{1}{k-1} \sum T_i)} = n \times (k - 1) \times W, \quad (5)$$

Критерій узгодження Пірсона розрахований для даної матриці становить 54,4 та є більшим за табличне значення (15,51) для числа ступенів свободи $k-1 = 9-1 = 8$ при заданому рівні вагомості $\alpha = 0.05$. Враховуючи зазначене, можна зробити висновок, що $W = 0,68$ – величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Для розрахунку показників вагомості кожного фактору необхідно матрицю, отриману за результатами опитування (табл. 2) відобразити через матрицю перетворених рангів (табл. 4), використовуючи формулу:

$$s_{ij} = X_{max} - X_j, \quad (6)$$

де $X_{max} = 9$

Таблиця 4. Матриця перетворених рангів.

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Ранги факторів, що включені в опитування								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	7,0	8,0	4,0	1,0	5,0	2,0	6,0	0,0	3,0
2	8,0	7,0	3,0	6,0	4,0	0,0	5,0	1,0	2,0
3	6,5	5,0	6,5	3,0	8,0	0,0	4,0	1,0	2,0
4	6,0	3,5	8,0	2,0	5,0	1,0	7,0	3,5	0,0
5	5,0	8,0	7,0	2,0	3,0	4,0	6,0	0,0	1,0
6	7,0	6,0	5,0	1,0	4,0	3,0	8,0	0,0	2,0
7	6,0	5,0	7,5	3,0	4,0	2,0	7,5	1,0	0,0
8	7,5	5,0	6,0	2,0	1,0	0,0	7,5	3,0	4,0
9	8,0	5,0	7,0	3,0	2,0	0,0	6,0	4,0	1,0
10	7,0	4,0	8,0	1,0	3,0	2,0	6,0	0,0	5,0
Сума рангів	68,0	56,5	62,0	24,0	39,0	14,0	63,0	13,5	20,0
Сума рангів всього	$\Sigma = 360$								
Вага фактору	0,189	0,157	0,172	0,067	0,108	0,039	0,175	0,038	0,056

На основі даних таблиці 4 будується діаграма вагомості факторів (рисунок 2).

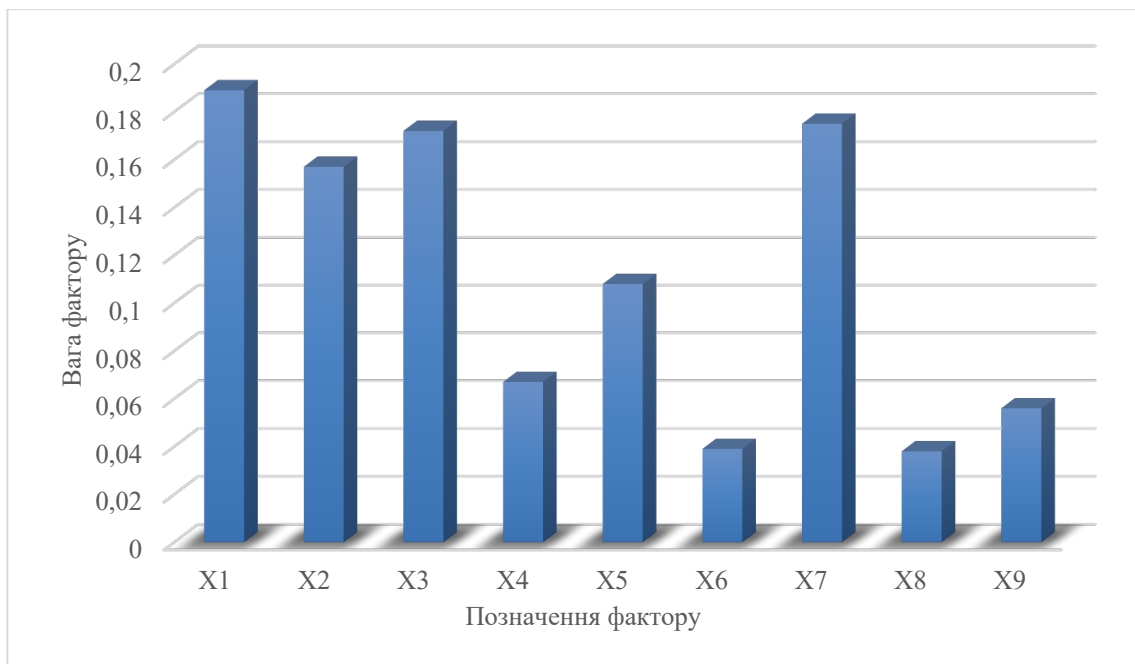


Рисунок 2. Діаграма вагомості факторів.

Отже, найбільш значимими є фактори X₁, X₃ та X₇, тобто температура перемішування суміші при приготуванні, вміст енергозберігуючої добавки та кількість асфальтобетонної крихти.

4. Висновки.

За результатами аналізу основних факторів із використанням методу експертних оцінок встановлені найбільш значимі фактори, які впливають на фізико-механічні характеристики

теплих асфальтобетонних сумішей. В якості факторів, що включені в опитування були прийняті основні технологічні та технічні параметри. Вибір параметрів здійснений на основі аналізу літературних джерел з урахуванням вимог [1]. За результатами досліджень встановлено, що найбільш значимими є такі фактори як: температура перемішування суміші під час приготування, кількісний вміст енергозберігаючої добавки та кількість асфальтобетонної крихти.

REFERENCES

1. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
2. Копинець І., Дослідження зміни властивостей асфальтобетонів під час старіння // Дороги і мости. – 2016. с. 69-75.
3. Dony, A. Warm mix asphalt technology: An up to date review [Текст] / Dony, A. Cheraghian G., Cannone Falchetto A., You Zhanping, Siyu Chen, Yun Su Kim, Westerhoff J., Ki Hoon Moon, Michael P. Wistuba // Construction and Building Materials. – 2020 September. – Volume 268, Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620321752>.
4. Dony, A. Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: Changes in reclaimed binder properties according to rejuvenating agent [Текст] / A. Dony, J. Colin, D. Bruneau, I. Drouadaine, J. Navaro // Construction and Building Materials. – 2013 April. – Volume 41, - pp. 175-181 Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812008586>.