

**ВПЛИВ КОЛИВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ НА
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

**TEMPERATURE OSCILLATIONS INFLUENCE IN ASPHALT CONCRETE LAYERS ON
STRESS-DEFORMED CONDITION OF ROAD PAVEMENT**



Баран Сергій Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, старший викладач, e-mail: baran_serg@ukr.net, тел. +380978806451

<https://orcid.org/0000-0002-3591-9880>



Білобрицька Олена Іванівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, доцент e-mail: o.bilobrytska@ntu.edu.ua, +380973602263

<https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>



Гринчак Ілона Іллівна, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, асистент, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, +380969786226

<https://orcid.org/0000-0002-8382-3824>



Куцман Олександр Михайлович, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, старший викладач, e-mail: kutsmans@ukr.net, тел. +380672960871,

<https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>



Шевчук Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, асистент e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, +380667153633

<https://orcid.org/0000-0002-5748-9527>

Анотація. Довговічність асфальтобетонного покриття залежить напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу, значний вплив на який чинять коливання температури.

Виконано розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану типових конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям для автомобільних доріг при різних температурних режимах

їх роботи. Встановлено, що істотну роль при прогнозуванні міцності та довговічності асфальтобетонного покриття відіграють температури, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких температурах під час весняного перезволоження ґрунтів, а також при інших температурних режимах. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується і модуль пружності асфальтобетону, що призводить до зменшення величини горизонтальних нормальних розтягуючих напружень асфальтобетонних шарів при їх згині при дії транспорту, однак одночасно більш суттєво зменшується міцність асфальтобетону на розтяг, що призводить до зменшення його довговічності.

Ключові слова. Асфальтобетонні шари, коливання температури, напружено-деформований стан, міцність і довговічність.

Для підтвердження доцільності розрахунків асфальтобетонного покриття при різних поєднаннях температур шарів, що викликають несприятливі зміни властивостей асфальтобетону в шарах дорожнього одягу, було проведено розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану типових конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям для автомобільних доріг (табл. 1). Характерною особливістю цих конструкцій є наявність двошарового асфальтобетонного покриття, основи, шари якого мають матеріали: асфальтобетон, ЦПС з цементом, ЦПС без в'язучого, і додаткового шару основи з піску на ґрунті з суглинку легкого пилюватого. Конструкції відрізняються між собою використанням в асфальтобетонних шарах різних видів асфальтобетону.

На підставі результатів досліджень температурного режиму при добових і річних коливаннях, за методикою описаної вище, стосовно до кліматичних умов, характерних для другої дорожньо-кліматичної зони, були отримані графіки добових змін температури асфальтобетонних шарів на різних глибинах від поверхні покриття (0 см; 5 см; 12 см; 20 см) в різні сезони року (рисунки 1 - 4).

Ці графіки представлені таким чином, що початок координат відповідає максимуму температури поверхні покриття в тіні. Представлені результати свідчать про зменшення амплітуди коливань температури по глибині, що пояснюється теплоізоляційним ефектом. Це також призводить до запізнення максимуму температури: на глибині 5 см - на 2 години; на глибині 12 см - на 5 годин; на глибині 20 см - на 8 годин.

Таким чином, отримані результати свідчать, що амплітуда цих коливань зменшується з глибиною через теплоізоляційні властивості матеріалу, що призводить до прояву ефекту теплової інерційності і створює «запізнююче» зміщення фаз коливань температури.

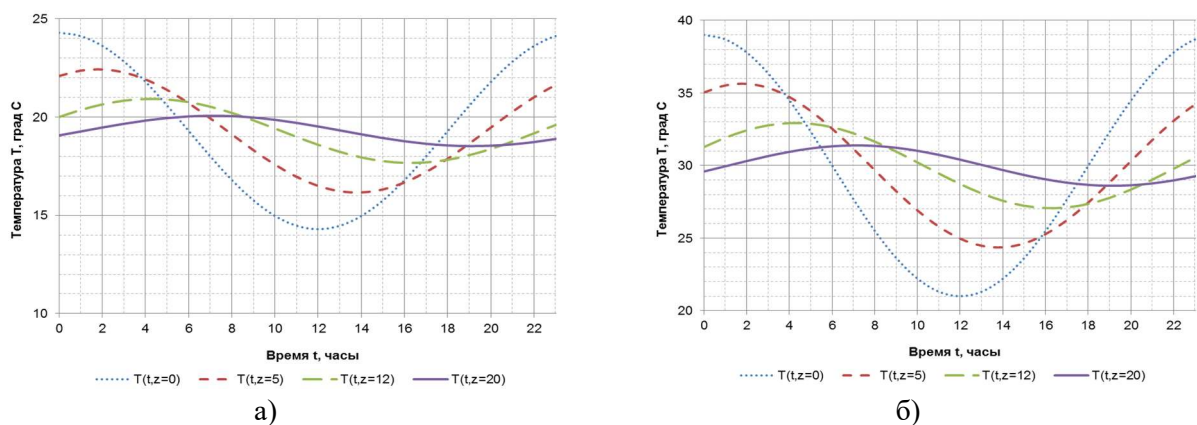


Рисунок 1 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в літній період: а) - при нормальних температурах; б) - при підвищених температурах

Figure 1 – Change in temperature in the layers of road pavement in the summer: а) - at normal temperatures; б) - at elevated temperatures

Таблиця 1 – Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, прийняті для розрахунку напружено-деформованого стану

Table 2 – Designs of road clothes with an asphalt concrete covering accepted for calculation of a stress-strain condition

Шифр	Конструктивні шари дорожнього одягу і їх товщина
1	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=5 см; 2. Асфальтобетон щільний крупнозернистий тип Б, (максимальна крупність мінеральних зерен 40 мм) на бітумі марки БНД 60/90, h=8 см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
2	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-15 h=5см; 2. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=8см; 3. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
3	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий тип А (максимальна крупність мінеральних зерен 20 мм), на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
4	1. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий на бітумі БНД 60/90 модифікованому полімером, h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.

Аналізуючи результати, наведені на рисунках 1 - 4, можна побачити, що кожен шар протягом декількох годин температура асфальтобетонних шарів на різних глибинах близька між собою з точністю $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Крім того, теплова інерційність в добовому режимі коливань температури призводить до того, що максимальні температури завжди вище в верхніх шарах. При цьому через 12 годин ситуація змінюється - максимальні температури вище в нижніх шарах.

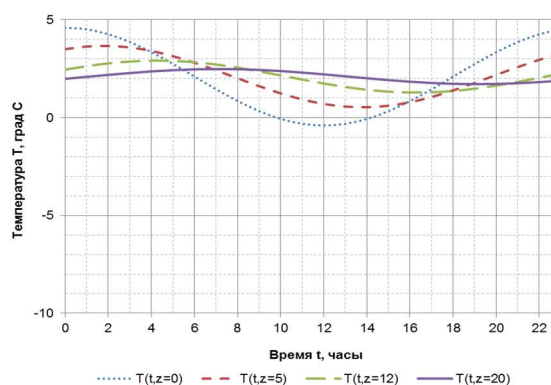


Рисунок 2 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в осінній період

Figure 2 – Change in temperature in the layers of road pavement in the autumn

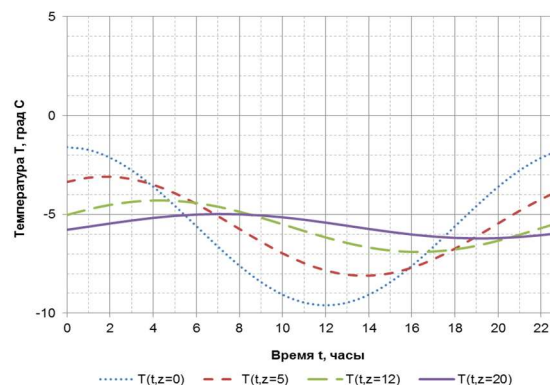


Рисунок 3 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в зимовий період

Figure 3 – Change in temperature in the layers of road pavement in the winter

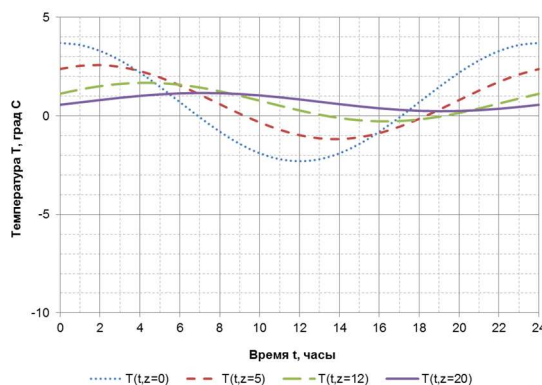


Рисунок 4 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу у весняний період

Figure 4 – Change in temperature in the layers of road pavement in the spring

Виходячи з проведеного аналізу характеру зміни температури асфальтобетонних шарів, є очевидним, що різне поєднання температур може виявитися розрахунковим не тільки при низьких весняних температурах (як прийнято в (ВБН), але і при інших темперних умовах. Для підтвердження даного положення було виконано розрахунок напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. На прикладі конструкції 1¹, на рисунках 5 - 6 представлені графічні залежності зміни нормальних вертикальних і горизонтальних напружень по глибині при різних температурах асфальтобетонних шарів для конструкцій дорожніх одягів.

Зміна по глибині нормальних вертикальних напружень свідчить про істотну розподільчу здатність, для аналізованих конструкцій, асфальтобетонних шарів. Ці напруження під асфальтобетонними шарами зменшуються в 2-3 рази. Однак з підвищенням температури від 0 °C до 40 °C їх розподільча здатність дещо зменшується (приблизно в 1,5 рази).

Отримані результати свідчать, що підвищення температури призводить до значного зменшення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в нижній частині асфальтобетонного покриття. А для конструкції 2 вони переходять в стискаючі, тобто, при згині конструкції покриття знаходиться в стислій зоні. При цьому для різних конструкцій закономірності зміни розтягуючих напружень зі зміною температури є різні. Однак ці дані також говорять про те, що є небезпека роботи асфальтобетонного покриття в зоні розтягу при позитивних температурах, коли значно зменшується міцність асфальтобетону при розтягу і стійкість до повторних навантажень.

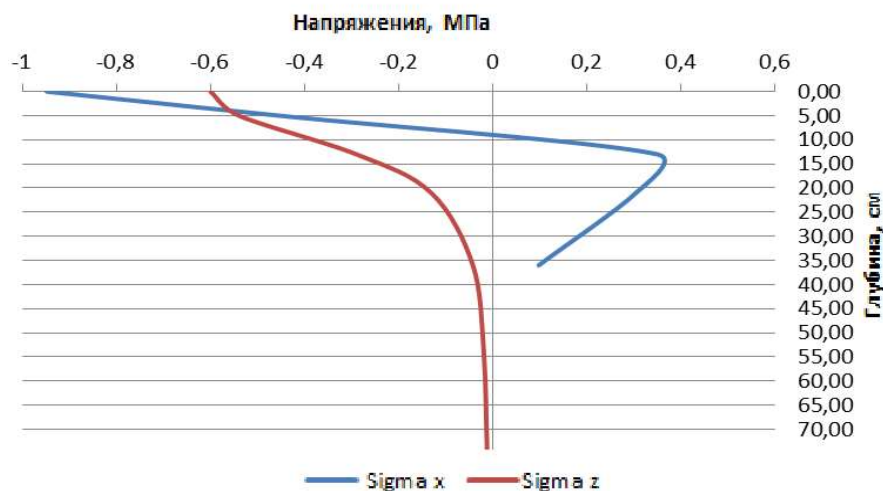


Рисунок 5 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу при 0 °С (конструкція 1)

Figure 5 – Change of normal horizontal and vertical stresses in the road of pavement at 0 °C (construction 1)

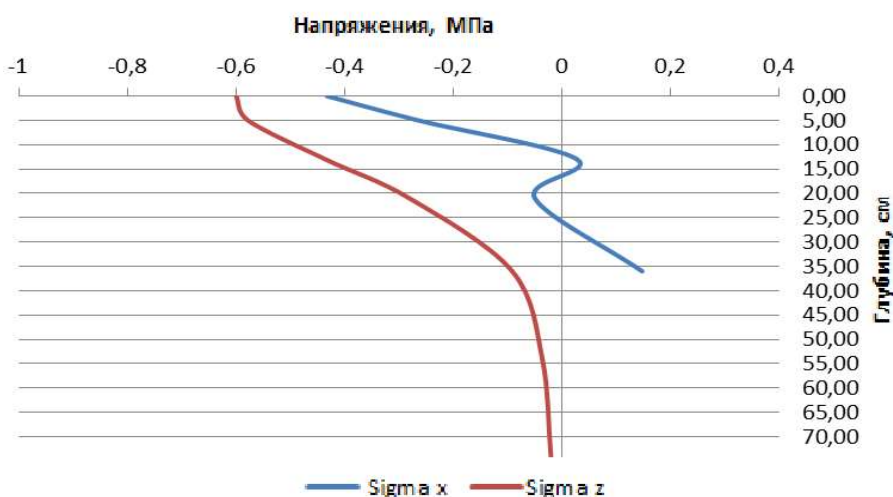


Рисунок 6 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу при 40 °С (конструкція 1)

Figure 6 – Change of normal horizontal and vertical stresses in the road of pavement at 40 °C (construction 1)

Отримані результати також свідчать, що горизонтальні нормальні розтягуючі напруження покриття змінюються протягом доби при коливаннях температури.

Таким чином, проведений аналіз зміни температурного режиму асфальтобетонного покриття та його напруженого стану показує, що можуть виникати такі поєднання напруженого стану та температур шарів, коли граничний стан, з точки зору утворення втомного руйнування, може наступати і при інших температурах, передбачених методикою (ВБН) [1]. У зв'язку з цим, для оцінки впливу температури і напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на його довговічність, була застосована методика [2 - 4], [] з використанням модифікованої залежності Бартенєва:

$$t^*(\sigma, T) = B_t(T) \times \sigma^{-b_T(T)} \quad (1)$$

де $B_t(T)$, $b_t(T)$ – постійні, що залежать від температури та тривалості дії навантаження і визначаються за результатами лабораторних випробувань матеріалів;

σ – напруження, що виникають в шарах дорожнього одягу при відповідних температурах.

Для значень параметрів $B_t(T)$ і $b_t(T)$ були отримані аналітичні вирази виду:

$$b_t(T) = A_b + B_b/T' + C_b \times e^{D_b/T'} \quad (2)$$

$$\lg B_t(T) = a_b + b_b/T' + r_b \times e^{\rho_b/T'} \quad (3)$$

де A_b , B_b , C_b , D_b , a_b , b_b , r_b , ρ_b – постійні, які визначаються за результатами лабораторних випробувань на тривалу міцність при різних температурах і навантаженнях.

При цьому оцінка довговічності проводилася по співвідношенню кількості циклів до руйнування при відповідній температурі шару ($N(T=t)$) до кількості циклів до руйнування при розрахунковій температурі ($N(T=0)$).

В якості прикладу в таблиці 2 наведені результати розрахунків відносної довговічності асфальтобетонного покриття для конструкції дорожнього одягу 4.

Таблиця 2 – Відносна довговічність асфальтобетонного покриття при різних температурах
Table 2 – The relative durability of asphalt pavement at different temperatures

T, °C	R, МПа	E, МПа	$B_t(T)$	$b_t(T)$	σ , МПа	$\frac{N_p(T=t)}{N_p(T=0)}$
0	8,8	6256	$6,49 \times 10^8$	5,01	0,31	1,00
10	6	3624	31672755	4,70	0,17	0,58
25	3,16	1440	559029,1	4,32	0,06	0,47

З результатів цих розрахунків випливає, що довговічність асфальтобетонних шарів може зменшитися в 1,5-2,0 рази, при повторних діях короткочасних навантажень, коли температури покриття будуть рівні 10 °C або 25 °C.

Висновки

Виконаний аналіз свідчить, що істотну роль при прогнозуванні довговічності асфальтобетонного покриття та його розрахунку на міцність відіграє температура, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких температурах під час весняного перезволоження ґрунтів, а також при інших температурних режимах. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується і модуль пружності асфальтобетону, що призводить до зменшення величини горизонтальних нормальних розтягуючих напружень асфальтобетонних шарів при їх згині при дії транспорту, однак одночасно більш суттєво зменшується міцність асфальтобетону на розтяг, що призводить до зменшення його довговічності.

Проведений аналіз наведених результатів розрахунків свідчить про необхідність моделювання роботи асфальтобетонних покриттів при різних поєднаннях температури шарів з урахуванням її добових і річних коливань.

Перелік посилань

1. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу
2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 -К., 1996 –406 с
3. S. Brown, N. Thom, P. Sanders A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking. Association of Asphalt Technologists. 2001, p. 543-571. <https://asphalttechnology.org/>.
4. Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. NCHRP Report, Issue 669, 2010, 70 p. <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22NCHRP%20Report%22>

TEMPERATURE OSCILLATIONS INFLUENCE IN ASPHALT CONCRETE LAYERS ON STRESS-DEFORMED CONDITION OF ROAD PAVEMENT

Baran Serhii Anatoliiovych, Ph.D. (Technology), National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: baran_serg@ukr.net, tel. +380978806451, <https://orcid.org/0000-0002-3591-9880>.

Bilobrytska Olena Ivanivna, Ph.D., National Transport University, Department of mathematics, Associate Professor, e-mail: o.bilobrytska@ntu.edu.ua, tel. +380973602263, <https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>

Hrynychak Ilona Illivna, National Transport University, Department of road building materials and chemistry, assistant, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, tel. +380969786226, <https://orcid.org/0000-0002-8382-3824>

Kutsman Oleksandr Mykhailovych, National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: kutsmans@ukr.net, tel. +380672960871, <https://orcid.org/0000-0002-4510-4570>

Shevchuk Lyudmila Volodymyrivna, Ph. D., National Transport University, assistant, Department of mathematics, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, tel. +380967153633, <https://orcid.org/0000-0002-5748-9527>.

Summary. The durability of asphalt pavement depends on the stress-strain state of the pavement structure, which is significantly affected by temperature fluctuations. The calculation and analysis of the stress-strain state of typical pavement structures with asphalt concrete pavement for roads at different temperatures of their operation are performed. It is established that a significant role in predicting the strength and durability of asphalt pavement is played by temperatures that vary in annual and daily conditions. Tensile stresses in the coating occur not only at low temperatures during the spring waterlogging of soils, but also at other temperatures. Thus, with increasing temperature, the modulus of elasticity of asphalt concrete naturally decreases, which leads to a decrease in the value of horizontal normal tensile stresses of asphalt concrete layers during their bending during transport, but at the same time more significantly reduces the tensile strength of asphalt concrete.

Keywords. Asphalt concrete layers, temperature fluctuations, stress-strain state, strength and durability.

References

1. VBN V.2.3-218-186-2004 Sporudy transportu. Dorozhnii odiah nezhorstkoho typu
2. Mozghovoi V.V. Nauchnye osnovy obespecheniya temperaturnoi treshchynostoikosty asfaltobetonnnykh pokrytyi: Dys. dokt. tekhn. nauk: 05.22.11 -K., 1996 –406 s
3. S. Brown, N. Thom, P. Sanders A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking. Association of Asphalt Technologists. 2001, p. 543-571. <https://asphalttechnology.org/>.
4. Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. NCHRP Report, Issue 669, 2010, 70 p. <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22NCHRP%20Report%22>