

УДК 625.825

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.83

## ВПЛИВ РОЗРАХУНКОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПОКРИТТЯ НА ЗСУВОСТІЙКІСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Дорожко Є.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Визначено вплив розрахункової температури асфальтобетонних шарів (у межах від 20 °С до 35 °С) на напружено-деформований стан робочого шару ґрунту земляного полотна та шарів конструкції дорожнього одягу від розрахункового навантаження групи А<sub>1</sub>.

*Ключові слова:* дорожній одяг, навантаження, напруження, температура, міцність, модуль пружності.

### Вступ

Міцність дорожнього одягу значною мірою залежить від природно-кліматичних умов, які необхідно враховувати як у процесі конструювання, так і на стадії розрахунку дорожнього одягу та робочого шару земляного полотна. Неправильне визначення розрахункових температур може призвести до невідповідності розрахункових та реальних умов роботи конструкції і, як наслідок, передчасного руйнування. За останнє десятиріччя навантаження на вісь транспортних засобів і питомий тиск на покриття значно зросли [1]. У таких умовах дорожні одяги стали значно швидше деформуватися та руйнуватися. Нині нагальним стає завдання розроблення методики розрахунків за критеріями міцності конструкцій дорожніх одягів на розрахункове навантаження 130 кН. У зв'язку з цим виникла необхідність у дослідженні напружено-деформованого стану шаруватої конструкції під дією розрахункового навантаження групи А<sub>1</sub> за умови різних розрахункових температур.

### Аналіз публікацій

Найбільш продуктивним методом розрахунку дорожніх одягів є розрахунки за критеріями міцності [2, 3]. Згідно з нормативом [3] та результатами роботи [4] є підстави вважати, що аналіз зміни напружено-деформованого стану конструкції у разі мінливого температурного режиму дозволить зробити висновки про вплив температурного режиму конструкції на міцність конструкції за критерієм опору зсуву ґрунтів земляного полотна. Аналогічні висновки наведено в роботі [5], присвяченій дослідженню напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття. Дослідження впливу розрахункової температури асфальтобетонних шарів покриття дорожнього одягу

(у межах від 20 °С до 35 °С) на напружено-деформований стан робочого шару ґрунту земляного полотна та шарів конструкції дорожнього одягу дозволить установити точність призначення розрахункової температури.

Усе це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження впливу розрахункової температури асфальтобетонних шарів покриття на опір зсуву ґрунтів земляного полотна.

### Мета й визначення завдання

Метою дослідження є аналіз впливу розрахункової температури асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість земляного полотна.

Для досягнення поставленої мети необхідно встановити, на скільки змінюються напруження та опір зсуву ґрунту земляного полотна за умови зміни розрахункової температури асфальтобетонних шарів покриття.

### Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу

Згідно з чинною в Україні послідовністю розрахунку за умовою зсувостійкості земляного полотна [3] розрахункові параметри матеріалів (значення модулів пружності матеріалів) визначають залежно від температури лише для матеріалів, що містять органічне в'язуче. Розрахункова температура у цьому випадку становить від 20 °С (для умов дорожньо-кліматичної зони I) до 35 °С (для умов південної частини дорожньо-кліматичної зони IV) [3]. Тому для моделювання напружено-деформованого стану, з метою аналізу впливу зміни температурного режиму на напружено-деформований стан та зсувостійкість земляного полотна змінюється розрахункова температура та відповідно модуль

пружності та коефіцієнт Пуассона лише асфальтобетонних шарів.

За розрахункову модель дорожнього одягу з покриттями капітального типу був прийнятий шаруватий лінійно-деформований (пружний) півпростір, на поверхню якого діє вертикальне навантаження, розподілене рівномірно по площі круга.

Прийняття такої моделі дає підставу використати для теоретичного дослідження повного напружено-деформованого стану всіх шарів дорожнього одягу й ґрунту земляного полотна методи теорії пружності, які застосовують звичайно для розв'язування задач із осью симетрії [6, 7].

Виходячи із сучасних уявлень про вплив структури та текстури на напружено-деформований стан твердого тіла, для дослідження асфальтобетонних шарів матеріал приймається як квазіоднорідне, квазіізотропне тіло [4, 7, 8]. У цьому випадку ідеалізація реального середовища щодо її однорідності, суцільності ізоотропії не призводить до принципових помилок у розрахунках за загальними рішеннями теорії пружності [7].

За математичний апарат для моделювання напружено-деформованого стану ґрунту земляного полотна був обраний метод скінчених елементів.

Розрахункова модель є чотиришаровою, що складається з трьох шарів дорожнього одягу й одного шару – основи (що імітує ґрунт земляного полотна).

Розрахункові моделі конструкцій дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А<sub>1</sub> наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри розрахункових моделей

Параметри	Назва моделі				
	М1	М2	М3	М4	
температура асфальтобетонних шарів, °С	20	25	30	35	
ЩМА-20 БМП 60/90-52	товщина, см	5	5	5	5
	модуль пружності, МПа	1800	1450	1100	850
АБ.АСГ. Др.Щ.А1. НП.І. БНД 60/90	товщина, см	7,5	7,5	7,5	7,5
	модуль пружності, МПа	1800	1350	900	725
ЩПС С-7 оброблена цементом М40	товщина, см	25	25	25	25
	модуль пружності, МПа	700	700	700	700
модуль пружності основи, МПа	50				

Форма розрахункової моделі визначається як шаруватий півпростір. Розміри розрахункової моделі 2 м × 2 м × 2 м прийнято, ґрунтуючись на літературних даних досліджень у цій галузі [9]. Розрахункова модель наведена на рис. 1.

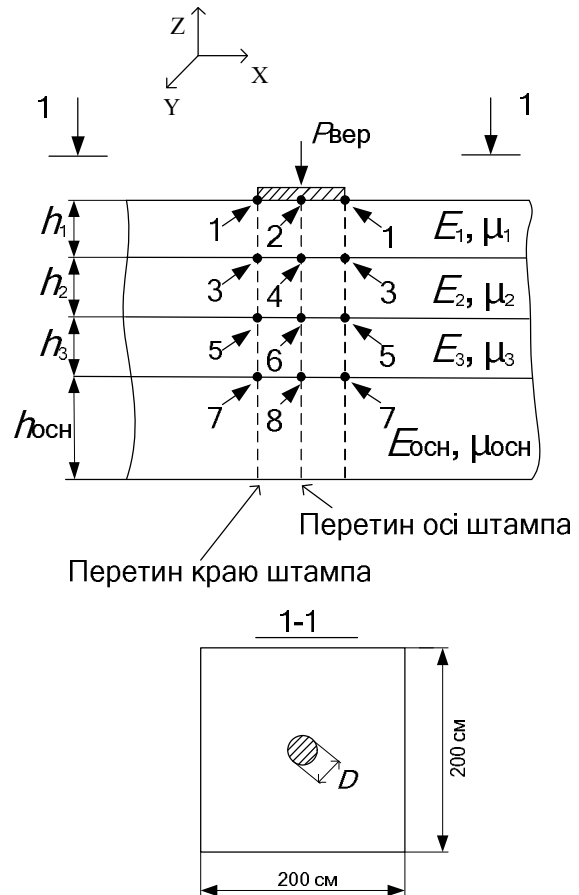


Рис. 1. Чотиришарова розрахункова модель конструкції дорожнього одягу

Параметри розрахункової моделі обрані таким чином: кожен характеризується товщиною ( $h_i$ ), модулем пружності ( $E_i$ ) і коефіцієнтом Пуассона ( $\mu_i$ ). Основа визначається загальним (еквівалентним) модулем пружності ( $E_{осн}$ ) і коефіцієнтом Пуассона ( $\mu_{осн}$ ). Вертикальне навантаження ( $P_{вер}$ ) 0,9 МПа, діаметр штамп ( $D$ ) 34,6 см, що відповідає групі розрахункового навантаження А<sub>1</sub> згідно з [10].

Як контрольні використовуються перетини на осі штамп й перетини розташовані на краях штамп, рис. 1. Результати моделювання напружено-деформованого стану конструкцій дорожнього одягу в характерних точках наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати моделювання напружено-деформованого стану конструкцій дорожнього одягу

Розташування точки (рис. 1)	Напруження, МПа								
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\tau_{yz}$	$\tau_{xz}$
M1									
1	-0,355	-0,710	-0,942	-0,382	-0,683	-0,942	0,000	0,000	0,094
2	-0,801	-1,420	-1,420	-0,801	-1,420	-1,420	0,000	0,000	0,000
3	-0,042	-0,416	-0,743	-0,346	-0,438	-0,416	0,000	0,000	0,347
4	-0,680	-0,680	-0,741	-0,742	-0,680	-0,680	0,000	0,000	0,000
5	-0,207	-0,780	-0,806	-0,373	-0,640	-0,780	0,000	0,000	0,268
6	-0,796	-1,223	-1,223	-0,796	-1,223	-1,223	0,000	0,000	0,000
7	0,162	0,135	-0,056	-0,056	0,135	0,162	0,000	0,000	0,012
8	0,199	0,199	-0,066	-0,066	0,199	0,199	0,000	0,000	0,000
M2									
1	-0,353	-0,677	-0,864	-0,383	-0,648	-0,864	0,000	0,000	0,094
2	-0,800	-1,317	-1,317	-0,800	-1,317	-1,317	0,000	0,000	0,000
3	-0,064	-0,388	-0,715	-0,385	-0,430	-0,388	0,000	0,000	0,323
4	-0,653	-0,653	-0,754	-0,754	-0,653	-0,653	0,000	0,000	0,000
5	-0,205	-0,717	-0,781	-0,373	-0,613	-0,717	0,000	0,000	0,262
6	-0,797	-1,144	-1,144	-0,797	-1,144	-1,144	0,000	0,000	0,000
7	0,168	0,139	-0,058	-0,058	0,139	0,168	0,000	0,000	0,013
8	0,206	0,206	-0,068	-0,068	0,206	0,206	0,000	0,000	0,000
M3									
1	-0,350	-0,637	-0,775	-0,384	-0,602	-0,775	0,000	0,000	0,093
2	-0,800	-1,189	-1,189	-0,800	-1,189	-1,189	0,000	0,000	0,000
3	-0,090	-0,350	-0,675	-0,351	-0,414	-0,350	0,000	0,000	0,291
4	-0,614	-0,614	-0,769	-0,768	-0,614	-0,614	0,000	0,000	0,000
5	-0,199	-0,643	-0,750	-0,373	-0,577	-0,643	0,000	0,000	0,256
6	-0,798	-1,042	-1,042	-0,799	-1,042	-1,042	0,000	0,000	0,000
7	0,175	0,143	-0,060	-0,060	0,143	0,175	0,000	0,000	0,013
8	0,217	0,217	-0,072	-0,072	0,217	0,217	0,000	0,000	0,000
M4									
1	-0,345	-0,600	-0,692	-0,384	-0,560	-0,692	0,000	0,000	0,092
2	-0,800	-1,076	-1,076	-0,800	-1,076	-1,076	0,000	0,000	0,000
3	-0,108	-0,338	-0,657	-0,354	-0,410	-0,338	0,000	0,000	0,273
4	-0,611	-0,611	-0,777	-0,777	-0,610	-0,610	0,000	0,000	0,000
5	-0,196	-0,578	-0,719	-0,373	-0,542	-0,578	0,000	0,000	0,247
6	-0,799	-0,957	-0,956	-0,799	-0,956	-0,956	0,000	0,000	0,000
7	0,180	0,146	-0,062	-0,062	0,146	0,180	0,000	0,000	0,014
8	0,224	0,224	-0,075	-0,075	0,224	0,224	0,000	0,000	0,000

Підвищення температури асфальтобетонних шарів у діапазоні температур від 20 °С до 35 °С на кожні 5 °С спричиняє збільшення головних напружень ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) у ґрунті земляного полотна приблизно на 5 %, що є вкрай важливим, оскільки згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [3] розрахунок зсувостійкості ґрунтів земляного полотна виконується саме за головними напруженнями:

$$\tau_n = [(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi] / 2 \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $\sigma_1$  – максимальне головне напруження, МПа;  $\sigma_3$  – мінімальне головне напруження, МПа;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя, град.

Збільшення температури асфальтобетонних шарів також призводить до збільшення напружень  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  у ґрунті земляного полотна. Зміна температури асфальтобетонних шарів у межах від 20 °С до 35 °С не впливає на величину дотичних напружень ( $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$ ) у ґрунті земляного полотна.

Підвищення температури асфальтобетонних шарів з 20 °С до 35 °С спричиняє зниження головних напружень ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ), напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  та дотичних напружень  $\tau_{xz}$  на поверхні моделі в місці прикладання навантаження (точки 1, 2 з рис. 1) та на нижній поверхні верхнього асфальтобетонного шару (точки 4, 5 з рис. 1) та на нижній поверхні другого шару з асфальтобетону (точки 7, 8 з рис. 1).

### Висновки

Визначено вплив розрахункової температури асфальтобетонних шарів (у межах від 20 °С до 35 °С) на напружено-деформований стан робочого шару ґрунту земляного полотна та шарів конструкції дорожнього одягу від розрахункового навантаження групи А<sub>1</sub>. Підвищення температури асфальтобетонних шарів у діапазоні температур від 20 °С до 35 °С на кожні 5 °С призводить до збільшення головних напружень ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) у ґрунті земляного полотна приблизно на 5 %. Зміна розрахункової температури на кожен 1 °С спричиняє зміну активних напружень зсуву в ґрунті та зміну коефіцієнта запасу міцності земляного полотна на зсув на 1 %. Результати моделювання свідчать, що необхідно вкрай точно визначати розрахункову температуру, особливо за умови мінімального запасу міцності земляного полотна на зсув.

### Література

1. Гамеляк І.П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям. *Автошляховик України*. 2013. № 5. С. 24–31.
2. Determining the Contribution of Different Structural Layers of Asphalt Pavement System to Rutting Using Transverse Profile Analysis / S. Hussan, M.A. Kamal, M.B. Khan, M. Irfan, I. Hafeez. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2013. Vol. 1. Issue 6. P. 174–180.
3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019. 59 с.
4. Volkov S.S., Vasiliev A.S., Aizikovich S.M., Seleznev N.M., Leontieva A.V. Stress-strain state of an elastic soft functionally-graded coating subjected to indentation by a spherical punch *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2016. Issue 4. P. 20–34.
5. Onischenko A., Aksenov S., Nevynhlovskyy V. Numerical Simulation of Stress-Strain State of Asphalt Concrete Pavement on the Carriageway of the South Bridge in Kiev. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 134. P. 322–329.
6. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. Киев, 1976. 415 с.
7. Dorozhko Y., Arsenieva N., Sarkisian H., Synovets O. Determining the most dangerous loading application point for asphalt-concrete layers on a rigid base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3/7 (99). P. 36–43.
8. Дорожко С.В. Врахування сумісної дії зовнішнього навантаження та температури при розрахунках тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 4. С. 132–136.
9. Мерзликін А.Е. Капустников Н.В. Погрешности, возникающие при расчёте дорожных одежд с помощью метода конечных элементов. *Строительные материалы*. 2010. № 10. С. 26–29.
10. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 91 с.

### References

1. Hameliak I.P., Koretskyi A.S., Koretskyi S.S. (2013). Pro neobkhdnist budivnytstva v Ukraini avtomobilnykh dorih iz tsementobetonnyim pokryttiam [About the need for construction of cement roads in Ukraine by roads]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy – Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 5, 24–31. [in Ukrainian].
2. Hussan S., Kamal M.A., Khan M.B., Irfan M., Hafeez I. (2013). Determining the Contribution of Different Structural Layers of Asphalt Pavement System to Rutting Using Transverse Profile Analysis. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 1 (6), 174–180.
3. GBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorogi. Dorozhniy odyag nezhorstkij. Proektuvannya [Highways. Non-rigid pavement. Designing] [in Ukrainian].
4. Volkov S.S., Vasiliev A.S., Aizikovich S.M., Seleznev N.M., Leontieva A.V. (2016). Stress-strain state of an elastic soft functionally-graded coating subjected to indentation by a spherical punch. *PNRPU Mechanics Bulletin*, 4, 20–34.
5. Onischenko A., Aksenov S., Nevynhlovskyy V. (2016). Numerical Simulation of Stress-Strain State of Asphalt Concrete Pavement on the Carriageway of the South Bridge in Kiev. *Procedia Engineering*, 134, 322–329.
6. Pisarenko G.S. (1976). *Deformirovanie i prochnost' materialov pri slozhnom napryazhenom sostoyanii* [Deformation and strength of materials under complex stress]. Kyiv, 415. [in Ukrainian].
7. Dorozhko Y., Arsenieva N., Sarkisian H., Synovets O. (2019). Determining the most dangerous loading application point for asphalt-concrete layers on a rigid base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/7 (99), 36–43.
8. Dorozhko Ye.V. (2015). Vrakhuvannya sumisnoi diyi zovnishnoho navantazhennia ta temperatury pry rozrakhunkakh tonkykh asfaltobetonnykh shariv na zhorstkiy osnovi [Account the simultaneous action of external loads and temperature in the calculation of thin asphalt layers on a rigid base]. *Naukovyi visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Civil Engineering*, 4, 132–136. [in Ukrainian].
9. Merzlikin A.E. Kapustnikov N.V. (2010). Pogreshnosti, vznikayushchie pri raschete dorozhnyh odezhd s pomosch'yu metoda

konechnykh elementov [Errors that occur when calculating the travel clothes using the finite element method]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 10, 26–29. [in Russian].

10. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorogi. Chastina I. Proektuvannya. Chastina II. Budivnictvo [Highways. Part I. Designing. Part II. Construction]. [in Ukrainian].

**Дорошко Євген Вікторович**, к.т.н., доц. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, evgeniy.dorozhko@gmail.com, тел. 0680699722, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### Влияние расчетной температуры асфальтобетонных слоев покрытия на сдвигоустойчивость земляного полотна

**Аннотация.** Определено влияние расчетной температуры асфальтобетонных слоев (в пределах от 20 °C до 35 °C) на напряженно-деформированное состояние рабочего слоя грунта земляного полотна и слоев конструкции дорожной одежды от расчетной нагрузки группы А<sub>1</sub>.

**Ключевые слова:** дорожная одежда, нагрузка, напряжение, температура, прочность, модуль упругости.

**Дорошко Евгений Викторович**, к.т.н., доц. каф. проектирования дорог, геодезии и землеустройства, evgeniy.dorozhko@gmail.com, тел. 0680699722, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

#### The influence of the calculated temperature of the asphalt concrete coating layers on the shear stability of the subgrade

**Abstract. Problem** The strength of the pavement depends significantly on the climatic conditions, which must be taken into account both in the design process

and at the stage of calculating the pavement and the working layer of the subgrade. Incorrect selection of design temperatures can lead to a mismatch between the design and actual operating conditions of the structure. Therefore, it is advisable to determine the effect of the calculated temperature of the asphalt concrete coating layers on the shear resistance of the subgrade. **Goal.** The goal is analysis of the effect of the calculated temperature of the asphalt concrete coating layers on the shear stability of the subgrade.

**Methodology.** To achieve this goal, the finite element method was used to model the stress-strain state of the pavement structure from the action of the transport load. **Results.** An increase in the calculated temperature of asphalt concrete layers in the temperature range from 20 °C to 35 °C (the temperature range of the coating layers when calculating the construction of pavement according to the criterion of shear resistance of subgrade) for every 5 °C leads to an increase in the main stresses ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) in soil subgrade by 5 %. **Originality.** For the first time, an analysis is made of the influence of the calculated temperature of asphalt concrete coating layers on the stress-strain state and shear stability of the working layer of the soil of the subgrade. It was established that an increase in the design temperature for each 1 °C leads to an increase in active shear stresses in the soil by 1 % and, consequently, to a 1 % decrease in the safety factor of the subgrade. **Practical value.**

The results of this study were taken into account when developing the Handbook of climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for calculating non-rigid pavement.

**Key words:** pavement, load, stress, temperature, strength, elastic modulus.

**Dorozhko Yevhen**, PhD, Associate Professor Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, evgeniy.dorozhko@gmail.com, tel. 0680699722,

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.