УДК 691.168 **DOI:10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-03**

ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ МІЦНОСТІ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

CONSIDERING THE INFLUENCE SAFETY FACTOR FOR FROST RESISTANCE WHEN CALCULATING PAVEMENT

Ільїн Я.В., к.т.н., м.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Iliyn Ia.V., PhD, Junior Researcher (Kharkiv national automobile and highway university, Kharkiv)

Встановлені в процесі досліджень закономірності показують, що коефіцієнти морозостійкості асфальтобетонів різною мірою знижуються під впливом циклічних заморожувань-відтавань. Дана робота дозволяє рекомендувати використання додаткових коефіцієнтів запасу морозостійкості при проектуванні нових автомобільних доріг з шарами нежорсткого дорожнього одягу. Для визначення необхідного показника запасу морозостійкості розглянуто дорожню конструкцію з ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу». З цієї конструкції взято модулі пружності асфальтобетонів верхніх шарів та розраховано зміну коефіцієнтів запасу міцності з урахуванням зміни модулів під дією циклічних заморожувань-відтавань.

The regularities established in the course of researches show that coefficients of frost resistance of asphalt concretes to various extent decrease under the influence of cyclic freezes-thaws. This work allows us to recommend the use of additional coefficients of frost resistance in the design of new roads with layers of non-rigid pavement.

Under experimental conditions, the road surface is exposed to cyclic freezing and thawing (FTC). Today, the topic of asphalt concrete FTC is relevant. Many scientists in different countries are dealing with this problem.

According to the literature, the layer of asphalt concrete can lose 40 - 80% of the load-bearing capacity. This property is associated with a decrease in the modulus of elasticity of the layer over time. In order to prevent a critical effect of the layer on the load-bearing capacity of pavement, you can use the various methods described in the article.

To determine the required index of frost resistance, the road structure with VBN B.2.3-218-186-2004 "Non-rigid road clothing" is considered. The modulus of elasticity of asphalt concrete of the upper layers is taken from this construction and the change of strength coefficients is calculated taking into account the change of modules under the action of cyclic freezing-thawing.

Technical and economic calculation shows that to compensate for the loss of load-bearing capacity of pavement from FTC it is advisable to use asphalt concrete on bitumen of high consistency and proved, based on the calculation of strength factors, that the use of modified bitumen is more effective than traditional bitumen. The article

considers the need to use an additional coefficient of frost resistance of asphalt concrete during the design of the road on the example of the road structure with VBN B.2.3-218-186-2004 "Non-rigid road clothing"

Ключові слова: асфальтобетон; асфальтополімербетон; коефіцієнт морозостійкості; коефіцієнт запасу міцності
Keywords: asphalt concrete; asphalt polymer concrete; frost-resistance coefficient; safety factor

В експериментальних умовах дорожнє покриття піддається дії циклічного заморожування та відтавання (ЦЗВ). Вперше стандартизований метод визначення морозостійкості матеріалу був розроблений М.А. Белелюбським у 1886 році. Сьогодні тема ЦЗВ асфальтобетону є актуальною. Багато науковців у різних країнах займаються цією проблемою [1-3].

Згідно з літературними даними, втрата несучої здатності асфальтобетону через вплив природних факторів може досягати 40 – 80% від несучої здатності. Це відбувається через зниження модуля пружності шару в часі. Існує декілька способів попередження критичного впливу шару на несучу здатність всієї конструкції дорожнього одягу. Перший спосіб – це встановлення коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу за рахунок збільшення його товщини на стадії проектування, другий – використання асфальтобетонів із підвищеним модулем пружності. Використання другого способу, зазвичай, досягається шляхом використання більш в'яжучих з меншою пенетрацією або асфальтополімербетонів.

Для визначення необхідного показника запасу морозостійкості розглянуто дорожню конструкцію, яка складається з п'яти шарів, два з яких – незв'язні (суглинок легкий, як основа та гравійно-піщана суміш, 48 см), а інші три – шари з асфальтобетонів (високопористий 10 см, пористий 6 см та щільний 6 см).

Для прийнятого в дослідженнях асфальтобетону типу Г у відповідності з [4] величина коефіцієнта запасу міцності конструкції дорожнього одягу прийнята рівною 1,33.

За даними, наведеними в таблиці 1, зменшення коефіцієнта морозостійкості ($К_{МРЗ}$) до 0,8 та 0,6 відповідно, супроводжується зменшенням коефіцієнта запасу міцності для шарів одягів з асфальтобетону на всіх трьох бітумах однаково, відповідно, в 1,25 та 1,67 разів. Це відбивається на необхідній для забезпечення мінімального коефіцієнта запасу міцності товщині шарів. Для того, щоб забезпечити прийнятий рівень $К_{МЦ}$ асфальтобетону, що не був підданий ЦЗВ, у випадку в'яжучих БНД 100/150, БНД 70/100 та БМП 40/60-57, шари, за товщиною, можуть бути відповідно 5,4 см, 4,0 см та 2,5 см (таблиця 1).

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунку впливу ЦЗВ на конструктивні показники

Дані для різних асфальтобетонів за наведених $К_{МРЗ}$	Модуль пружності, МПа	Товщина шару, см, за $К_{МЦ}$ = 1,33	$К_{МЦ}$ за пружним прогином	Значення $К_{МРЗ}$, за якого досягається $К_{МЦ}$ = 1,33
ВБН 70/ 100	3200	4,0	2,01	0,66
ВБН 70/100 $К_{МРЗ}$ = 0,8	3560	5,0	1,61	-
ВБН 70/100 $К_{МРЗ}$ = 0,6	1920	6,6	1,21	-
ВБН 100/ 150	2400	5,4	1,51	0,88
ВБН 100/ 150 $К_{МРЗ}$ = 0,8	1920	6,6	2,21	-
ВБН 100/ 150 $К_{МРЗ}$ = 0,6	1440	8,8	0,9	-
ВБН БМП	5000	2,5	3,14	0,43
ВБН БМП $К_{МРЗ}$ = 0,8	4000	3,2	2,51	-
ВБН БМП $К_{МРЗ}$ = 0,6	3000	4,2	1,88	-

Під дією ЦЗВ, модуль пружності шару з асфальтобетону може знизитись до 40 %. В такому випадку, забезпечення $К_{МЦ}$ буде досягнуто за товщин шарів 8,8 см (у 1,63 рази більше), 6,6 см (у 1,65 рази) та 4,2 см (у 1,68 рази). Згідно з наведеними даними, найбільшої товщини повинні набути шари на бітумі низької в'язкості.

За таких умов шари не будуть зсувостійкими в жарку пору року. Найбільш стійкими взимку та влітку в таких саме умовах буде асфальтобетон на бітумі, модифікованому полімером. Також він буде найбільш тріщиностійким за низьких температур, оскільки його температура крихкості дорівнює мінус 21,0°С, БНД 70/100 = мінус 16,5°С. Збільшення вартості асфальтобетону за рахунок використання БМП буде компенсоване його меншою конструктивною товщиною.

За даними таблиці 1 побудовано графік залежності між морозостійкістю та коефіцієнтом запасу міцності ($К_{МЦ}$) на асфальтобетонах з різними видами в'яжучих, наведений на рис. 1. Зі зниженням $К_{МРЗ}$, $К_{МЦ}$ зменшується практично прямолінійно, хоча характер зміни (темп) різний.

Вихідні значення $К_{МЦ}$ максимальні для асфальтополімербетону на БМП 40/60-57. Прийнятого критичного значення Кмц такий асфальтобетон досягає за $К_{МРЗ}$, рівним 0,43. Асфальтобетон на бітумі БНД 70/100 – за $К_{МРЗ}$ = 0,66, а на бітумі БНД 100/150 – за $К_{МРЗ}$ = 0,88. Таким чином, $К_{МРЗ}$ за

критерієм Кмц відрізняється в 1,53 та 2,05 рази. Асфальтобетон на БМП 40/60-57 забезпечує критичне зниження Кмц навіть за умови зниження модуля пружності на 57%, на БНД 70/100 – на 34% та на БНД 100/150 – на 12%.

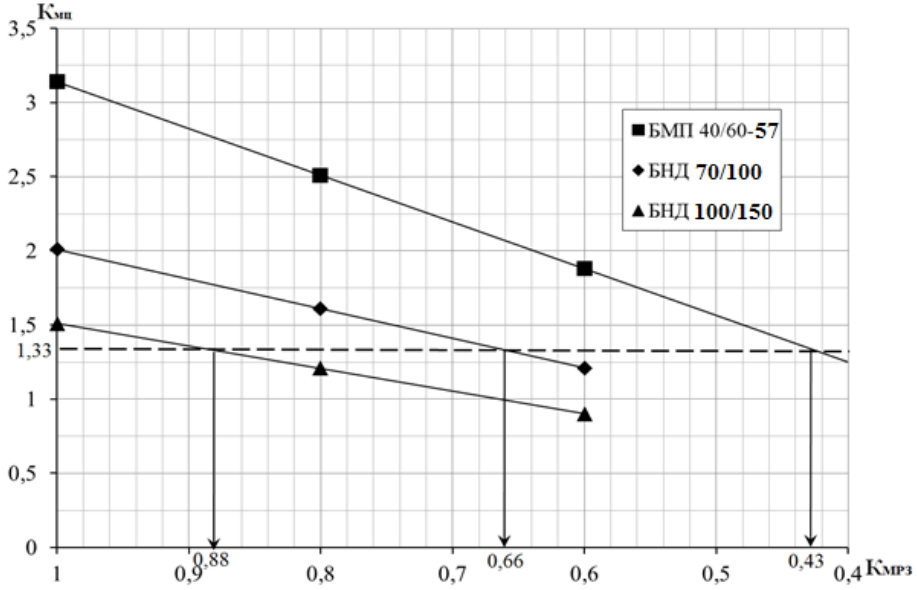

Рисунок 1. Залежність між морозостійкістю та $К_{МЦ}$ на асфальтобетонах з різними видами в'яжучих

Характерно, що інтенсивність зростання товщини шарів відрізняється залежно від консистенції бітумних в'яжучих незначною мірою (рис. 2). При цьому, коли $К_{МРЗ}$ асфальтополімербетону стає рівним 0,64, товщина шару дорівнює такій товщині, яка потрібна для забезпечення такого ж $К_{МЦ}$ перед дією ЦЗВ (4 см). У свою чергу, асфальтобетон на бітумі БНД 70/100 за товщини 5,2 см (після втрати 22% модуля пружності) забезпечує той же рівень $К_{МЦ}$, що й асфальтобетон на бітумі БНД 100/150 до початку ЦЗВ.

Подібне зниження модуля пружності після ЦЗВ ($К_{МРЗ}$ = 0,8) досягається асфальтополімербетоном за товщини шару 3,2 см, асфальтобетону на БНД 70/100 – 5,2 см, асфальтобетону на БНД 100/150 – 6,6 см. При цьому для забезпечення більшої надійності в часі роботи асфальтобетону при зменшенні модуля пружності на 20% ($К_{МРЗ}$ = 0,8) необхідно збільшити товщину шарів на БМП 40/60-57 з 2,4 см до 3,2 см, на бітумі БНД 70/100 – з 4 см до 5 см, на бітумі БНД 100/150 – з 5,4 см до 6,5-7,0 см. В середньому, кожен шар у 1,25 рази більший за попередній.

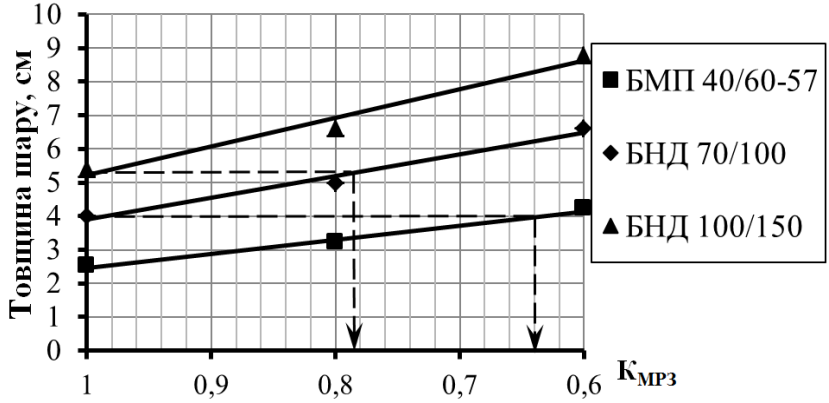

Рисунок 2. Мінімально необхідні товщини верхнього шару асфальтобетону залежно від $К_{МРЗ}$ для відповідності $К_{МЦ}$ = 1,33

За даними, наведеними в табл. 2, можна прийти до висновку, що використання асфальтополімербетону, не дивлячись на більшу вартість за 1 тону суміші, більш вигідне. Економічний ефект використання асфальтополімербетону на 1 км покриття порівняно з використанням асфальтобетонів на немодифікованих бітумах та загальна економічна ефективність наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Економічний ефект та економічна ефективність використання асфальтополімербетону в порівнянні з використанням асфальтобетонів на не модифікованих бітумах

Вид в'яжучого в асфальтобетоні	Економічний ефект на 1 км шару асфальтобетону, тис. грн / Економічна ефективність, %		
	До ЦЗВ	Після ЦЗВ	
		При $К_{МРЗ}$ = 0,8	При $К_{МРЗ}$ = 0,6
БМП 40/60-57 у порівнянні з БНД 100/150	546,15 / 27,63	584,86 / 24,21	817,77 / 25,39
БМП 40/60-57 у порівнянні з БНД 70/100	252,25 / 14,99	272,39 / 12,95	373,29 / 13,44

Згідно з наведеними вище даними, було проведено економічні розрахунки щодо доцільності використання більш дорогих асфальтополімербетонних шарів у якості покриттів дорожнього одягу. Показники модулів пружності асфальтобетону внаслідок ЦЗВ краще компенсувати введенням коефіцієнту запасу на морозостійкість у межах 1,2 ÷ 1,25.

За результатами техніко-економічного розрахунку, визначено, що для компенсації втрат несучої здатності дорожнього одягу від ЦЗВ доцільно використовувати асфальтобетони на бітумах підвищеної консистенції. За даними розрахунку коефіцієнтів запасу міцності зроблено висновок, що використання БМП більш ефективне, ніж використання традиційних бітумів. Тобто, за ступенем покращення морозостійкості, можна скласти таку схему від найменш доцільного до найбільш вигідного: асфальтобетон на бітумі з найменшою пенетрацією, зростання в'язкості в'яжучого, асфальтополімербетон.

References

1. Mária Trojanová, Martin Decký, Eva Remišová. The Implication of Climatic Changes to Asphalt Pavement Design. Procedia Engineering. Volume 111. 2015. P. 770-776 XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015)
2. Wei Si, Ning Li, Biao Ma, Junping Ren, Hainian Wang, Jian Hu Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015. Vol.30, Issue 4. p. 703–709
3. Mohab El-Haki, Susan Tighe. Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes. Canada Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. Vol. 2444. pp. 20-27
4. VBN V.2.3-218-186-2004 «Dorozhnii odiah nezhorstkoho typu» approved by Ukravtodor from 15.10.2004 № 756 and act from 01.01.2005.

Список використаної літератури

1.Mária Trojanová, Martin Decký, Eva Remišová. The Implication of Climatic Changes to Asphalt Pavement Design. Procedia Engineering. Volume 111. 2015. P. 770-776 XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015)
2.Wei Si, Ning Li, Biao Ma, Junping Ren, Hainian Wang, Jian Hu Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015. Vol.30, Issue 4. p. 703–709
3.Mohab El-Haki, Susan Tighe. Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes. Canada Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. Vol. 2444. pp. 20-27
4.ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу» затверджено наказом Укравтодору від 15 жовтня 2004 р. № 756 і надано чинності з 01 січня 2005 р.