

УДК 625.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.192

## ВПЛИВ СТАБІЛІЗУЮЧИХ ДОМІШОК НА ДЕФОРМАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Псюрник В.О., Маляр В.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Проведені дослідження впливу стабілізуючих домішок на значення модулів пружності за умови різних температур, швидкостей деформування та зсувостійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів. Отримані результати порівняні з асфальтобетонами на звичайних та бітумополімерних в'язучих. Вивчено вплив різновиду стабілізуючих домішок на зміну показника міцності на згин від температури випробування.

**Ключові слова:** щебенево-мастиковий асфальтобетон, стабілізуючі домішки, деформаційні показники, реологічні властивості, зсувостійкість, тріщиностійкість.

### Вступ

Останнє десятиріччя щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) став головним різновидом матеріалів у верхніх шарах дорожнього одягу України. Тільки за останні два роки випущено близько 3 млн. т щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей (2017  $\approx$  1,463 млн. т, 2018  $\approx$  1,3 млн. т). Проте проблема об'єктивної оцінки в зміні деформаційних показників залежно від дії транспортного навантаження у разі різних температурних режимів, особливо в кліматичних умовах України, має бути й надалі об'єктом поглиблених наукових досліджень. Це є особливо актуальним щодо ЩМА, так як у його складі, на відміну від звичайного асфальтобетону, наявна значна кількість щебеню, підвищений вміст бітуму та присутній специфічний компенсатор вмісту бітуму – стабілізуюча домішка. Ринок домішок стабілізаторів нараховує десятки їх різновидів, тому вплив їх різновидів є актуальним завданням. Особливо це стосується впливу на деформаційно-міцнісні показники якості, що відповідають за забезпечення довговічності ЩМА.

### Аналіз публікацій

Можливості щодо забезпечення несучої здатності доріг вищих технічних категорій з інтенсивністю декілька десятків тисяч автомобілів за добу та навантаженням більше ніж 10...15 т на вісь були практично вичерпані. У цих умовах виникла необхідність у нових матеріалах, які б характеризувалися комплексом необхідних деформаційно-міцнісних характеристик якості. Першими в цьому переліку матеріалів були асфальтополімербетони (кінець 80-х рр.). А вже в середині 90-х рр. ЩМА став для різних регіонів світу

(Європа, Африка, Азія, Америка, Скандинавські країни, а в Україні з початком 2000 рр.) новим та перспективним матеріалом. За вмістом складових та співвідношенням між компонентами суміші він належить до самостійних різновидів асфальтобетонів [1–3].

Система оцінки якості щебенево-мастикових асфальтобетонів та межі її показників устанавлюються ДСТУ Б.В. 2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастиковий. Технічні умови» [4].

Пружні характеристики ЩМА, а саме модуль пружності, надані у зміні № 2 додатку Будівельних норм ВБН В.2.3-218-186-2004 [5]. За умови розрахункових температур від 0 до 40 °C значення модуля пружності ЩМА нижче, ніж у асфальтобетонів, у середньому на 13,5 %. Максимальний розмір наповнювача ЩМА значно впливає на модуль пружності, як і в'язкість бітуму та його модифікація полімерами різної концентрації, синтетичним воском і т. п. Вплив на пружні характеристики ЩМА, що зазначені у стандарті, значною мірою здійснюється за рахунок модифікації в'язучого, що супроводжується підвищенням його в'язкості. До такого висновку приходять автори робіт, у яких розглядається полімерний модифікатор СБС [6, 7], подрібнена гума та парафін [8, 9] та ін.

Однак підвищення пружних характеристик ЩМА за рахунок модифікації в'язучого не повинно підвищувати крихкість ЩМА у зимовий період експлуатації. Також на деформативність ЩМА впливає вміст в'язучого. У [10] устанавлений кореляційний зв'язок між кількістю бітуму та жорсткістю ЩМА, визначеного за допомогою реометра динамічного зсуву.

На пружні характеристики ЩМА впливають фізичні та хімічні властивості наповнювачів, їх кількість, форма частинок. У [11] була вивчена зміна енергії деформування під дією цих чинників та встановлені кореляційні зв'язки між модулем пружності та опору колієутворення [12].

З точки зору опору колійності (наслідок накопичення пластичних деформацій) ЩМА кращий, ніж асфальтобетон. Також ЩМА більш довготривалий, він знижує швидкість поширення відбитих тріщин [13]. До недоліків щебенево-мастикових сумішей належить сегрегація, розшарування під час транспортування та складність ущільнення. Щоб запобігти цьому в ЩМА використовують стабілізатор (волокна), який, по-перше, зменшує стікання в'язучого в ЩМА, по-друге, підвищує утомленісну міцність та колієстійкість ЩМА [14]. У [14] вивчали вплив різних волокон (мінеральних та органічних) на модуль пружності та динамічну повзучість за умови температур від 5 до 35 °С. Було встановлено, що існує оптимальний вміст волокон залежності від температури випробування за критерієм деформаційних властивостей ЩМА. З підвищенням температури збільшується оптимальний вміст волокон. У [15] показано, що оптимальний вміст целюлозного волокна знаходиться в межах 0,4...0,6 % від маси мінеральної частини ЩМА за критерієм утомленісної міцності. У [16] таким критерієм був показник стабільності за Маршаллом.

Значна частина робіт присвячена впливу різновидів волокон та їх вмісту на фізико-механічні властивості. Наприклад, результати дослідження [16] дозволили дати рекомендації щодо проектування складу ЩМА (VFA – частка пор, що заповнені бітумом; VMA – доля міжзернових пустот) залежно від виду волокнистого стабілізатора (лігнін, поліефірне волокно, мінеральне волокно, змішане волокно).

У [17] надана 2D-модель ЩМА та рішення мікромеханіки щодо напружено-деформованого стану з використанням методу дискретних елементів (DEM). Зіставлені дані рішень чисельного та експериментального методу, що отримані відповідно до Британського стандарту на багатоциклове навантаження. Показано, що об'ємна концентрація крупного наповнювача ефективно позначається на накопиченні деформацій у разі такого навантаження. Також DEM моделі здатні прогнозувати деформацію повзучості ЩМА.

Аналіз літературних джерел показав, що відсутні комплексні дослідження впливу різних класів волокон на спектр деформаційних властивостей ЩМА (широкий температурний та часовий діапазон). Відсутній аналіз та рекомендації щодо вибору типу волокон, які поліпшують деформативні властивості ЩМА, не погіршуючи в цьому випадку його крихкості.

#### Мета й визначення завдання

Метою досліджень є встановлення характеру деформаційно-міцнісної поведінки щебенево-мастикового асфальтобетону на основі різних «стабілізуючих» полімерних домішок – волокон: целюлозних або синтетичних, з використанням спеціального для таких досліджень лабораторного обладнання.

Для досягнення поставленої мети були окреслені такі завдання: визначити реологічні показники ЩМА за умови різних температур та різних швидкостей деформування; оцінити опір ЩМА розвитку пластичних деформацій у разі підвищених температур – зсувостійкість; визначити показник тріщиностійкості ЩМА для різних швидкостей прикладання навантажень та різних розрахункових температур.

#### Експериментальні дослідження деформаційних та міцнісних властивостей ЩМА

Характерною особливістю бетонів на основі органічних в'язучих, до яких і належить ЩМА, є їх релаксаційна реакція на зовнішню дію. Тому для дослідження деформаційних властивостей ЩМА можна використовувати реологічні показники гармонійного деформування. Крім того, установлення характеру деформаційної поведінки ЩМА та відповідних параметрів у разі різних температурних режимів та різних рівнів навантаження є важливим для розрахунку дорожніх конструкцій. Для таких досліджень на кафедрі ТДБМ ХНАДУ протягом багатьох десятиріч використовують вібростенд зі струмодинамічним перетворювачем, який за синусоїдальним законом передає зусилля із заданою частотою та амплітудою коливань на матеріал [18, 19, 20], чим досягається реалізація імітації швидкості транспортного потоку.

Реологічними показниками прийнято: значення комплексних модулів пружності ( $E^*$ ) у діапазоні частот деформування від 0,01 до 50 Гц у межах температур від -20 до +50 °С; параметри, що характеризують фізи-

чний стан ЦМА – температури умовного механічного склування ( $T_{\text{скл}}$ ), яка відповідає значенню модуля пружності  $10^4$  МПа, та температури переходу у в'язко-пластичний стан ( $T_{\text{вп}}$ ), що відповідає значенню модуля пружності, рівному  $10^2$  МПа; коефіцієнт температурної чутливості ( $\Delta \lg E^*/\Delta T$ ), призначення якого розкрити роль в'язучого в бетоні, а також коефіцієнт пластичності ( $m$ ) [19].

Об'єктом досліджень прийнято ЦМА такого складу: щебінь гранітний фр. 5-10 – 68 %, пісок з відсівів граніту – 22 %, мінеральний порошок – 10 %, бітум марки БНД 60/90 – 6,6 % та стабілізуюче волокно «Antrocel» – 0,4 % (більше ніж 100 % мінеральної частини). Ця домішка належить до целюлозних гранульованих домішок, оброблених бітумом, вона є домішкою типу VIATOR. Фізико-механічні властивості ЦМА з цією домішкою наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості ЦМА

| Найменування показників                                                                                                  | Значення показників |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>                                                                                     | 2420                |
| Пористість мінеральної частини, %                                                                                        | 15,6                |
| Залишкова пористість, %                                                                                                  | 2,3                 |
| Водонасичення, % за об'ємом                                                                                              | 1,7                 |
| Межа міцності за умови стиску, МПа якщо 20 °С                                                                            | 3,8                 |
| якщо 50 °С                                                                                                               | 1,2                 |
| Водостійкість у разі довготривалого водонасичення                                                                        | 0,95                |
| Зсувостійкість за:                                                                                                       |                     |
| - коефіцієнтом внутрішнього тертя, МПа                                                                                   | 0,98                |
| - за зчепленням у разі зсуву за умови температури 50 °С, МПа                                                             | 0,67                |
| Трещиностійкість за межею міцності на розтяг у випадку розколу (температура 0 °С і швидкість деформування 50 мм/хв), МПа | 4,8                 |
| Стікання в'язучого, %                                                                                                    | 0,14                |

Випробуванню на стенді піддавали зразки-балки ЦМА завдовжки 25 см зі сторонами 4х4 см. Їх виготовляли з плити, попередньо сформованої на секторному пресі. Комплексний модуль пружності визначали за [20].

Ураховуючи недостатнє висвітлення в літературі даних щодо значень таких реологічних параметрів ЦМА, як  $E^*$ ,  $T_{\text{скл}}$ ,  $T_{\text{вп}}$  та ін., здійснювалося порівняння отриманих результатів досліджень з відповідними значеннями звичайного асфальтобетону (тип Б за

гранулометриєю) на бітумі, що його було прийнято для ЦМА – БНД 60/90 (вміст – 4,8 %) пенетрація за умови 25 °С – 70·0,1 мм, температура розм'якшеності  $t_p$  – 51 °С, а також асфальтополімербетону типу Б. Для модифікації бітуму використано термоеластопласт типу стирол-бутадієн-стирол марки Кратон Д1101 фірми SHELL (Голландія). Його в кількості 3 % вводили в бітум БНД 90/130 (пенетрація, якщо 25 °С – 116·0,1 мм,  $t_p$  = 46 °С). Це дозволило отримати марку БМП 60/90 (пенетрація за умови 25 °С – 60·0,1 мм, температура розм'якшення – 55 °С). Вміст БМП в асфальтобетоні становить 4,8 %.

Відомо, що в'язуче є єдиним релаксаційно здатним компонентом асфальтобетону [21]. Можна було передбачити, що стабілізуюча домішка здатна впливати на деформаційну поведінку ЦМА та на релаксаційні процеси в ньому. У той же час наведені в табл. 1 стандартні дані аж ніяк не дозволяють об'єктивно оцінити вплив стабілізуючої домішки на деформаційну поведінку ЦМА у разі його роботи в конструкції дорожнього одягу, бо за такими ж стандартними даними (міцність на стиск за умови 20 та 50 °С) ЦМА поступаються як звичайному асфальтобетону, так і асфальтополімербетону (табл. 2).

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону та асфальтополімербетону

| Тип бетону                                     | Середня щільність | Водонасичення W, % | Міцність на стиск R, МПа |                 | Коефіцієнт тривалої водостійкості $K_{\text{вд}}$ |
|------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|
|                                                |                   |                    | R <sub>20</sub>          | R <sub>50</sub> |                                                   |
| Тип Б (БНД 60/90 – 4,8 %)                      | 2386              | 2,40               | 4,60                     | 1,80            | 0,9                                               |
| Тип Б (БНД 90/130 + 3 % Kraton D1101 – 4,8 %)  | 2394              | 2,56               | 4,83                     | 2,42            | 0,89                                              |
| Тип Б (БНД 130/200 + 3 % Kraton D1101 – 4,6 %) | 2389              | 2,80               | 4,52                     | 2,27            | 0,81                                              |

Саме тому більш об'єктивну інформацію про поведінку ЦМА в дорожньому одязі можна отримати на підставі аналізу деформаційно-міцнісної поведінки ЦМА в прийнятому температурному та частотному діапазоні. Температурно-частотні залежності

комплексного модуля пружності ЩМА наведені на рис. 1.

Дані рис.1 свідчать про те, що для ЩМА, так як і для звичайного асфальтобетону або асфальтополімербетону [22], характерна степенева залежність модуля пружності від частоти деформування за умови різних температур досліджень. Зі збільшенням частоти механічної дії спостерігається зростання модуля пружності ЩМА. Абсолютні значення комплексного модуля пружності  $E^*$  ЩМА зростають зі зниженням температури, а інтенсивність зростання  $E^*$ , тобто коефіцієнти пластичності, залежать від температури випробування. Якщо температура 10 – 35 °С, спостерігається найбільша залежність модулів пружності ЩМА від частоти дії навантаження. У разі +50 °С інтенсивність зміни  $E^*$  є дещо нижчою, а особливо її зниження спостерігається у випадку переходу до температур –10 та –20 °С. Така особливість деформування притаманна як асфальтобетону, так і асфальтополімербетону [22].

Звертає на себе увагу той факт, що у всьому діапазоні частот абсолютне значення модулів

пружності ЩМА в діапазоні температури від +50 до 0 °С поступається асфальтополімербетонам. Проте за умови –10 та –20 °С модулі пружності ЩМА, навпаки, стають вищими. Пов'язано це, напевно, з тим, що у випадку температури 0 °С підсилююча дія полімеру знижується, у той же час стабілізуюча домішка не включається в процес деформування і основна роль належить в'язучому. Особливо наочно про це свідчать графічні температурні залежності модуля пружності (рис. 2). Напевно, це є наслідком стабілізуючої дії домішки. Що ж до високих значень температур, то вище абсолютне значення  $E^*$  асфальтополімербетону пов'язано з посиленням бітуму полімерною домішкою. Коефіцієнт пластичності ( $m$ ), що визначається за тангенсом кута нахилу  $E^*$  від частоти ( $f$ ), зі зміною температур від високих до низьких переходить через максимум (табл. 3), що пов'язано із співвідношенням часу дії навантаження та релаксаційними процесами. За умови температури 20 °С коефіцієнт пластичності найвищий, а в разі –20 °С він досить низький.

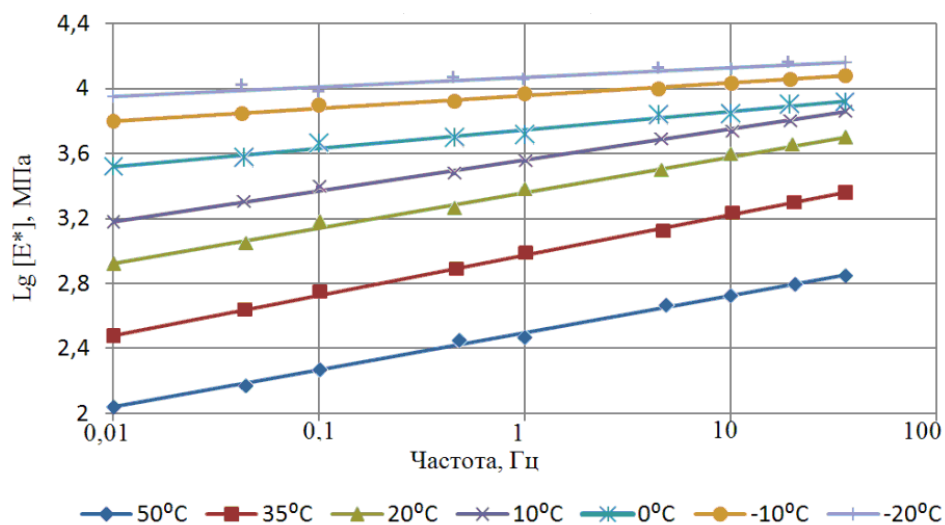


Рис. 1. Частотні залежності комплексного модуля пружності ЩМА за умови різних температур

Таблиця 3 – Параметри температурної залежності ЩМА асфальто- та асфальтополімербетону

| Характеристика в'язучого, тип гранулометрії                        | Частота, f Гц | Параметри температурної залежності |                      |                      |                             |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|------|------|------|
|                                                                    |               | T <sub>скл</sub> , °С              | T <sub>вп</sub> , °С | T <sub>пл</sub> , °С | $\Delta \lg E^* / \Delta T$ | m    |      |      |
|                                                                    |               |                                    |                      |                      |                             | +50  | +20  | –20  |
| ЩМА на в'язучому БНД 60/90 (0,4 % Ап-тросел)                       | 0,01          | –18                                | 51                   | 69                   | 0,028                       | 0,18 | 0,20 | 0,10 |
|                                                                    | 0,5           | –12                                | 70                   | 82                   | 0,025                       |      |      |      |
| Асфальтобетон на в'язучому БНД 90/130+3 % Кратона Д 1101, тип Б    | 0,01          | –18,5                              | 59                   | 77,5                 | 0,026                       | 0,18 | 0,18 | 0,06 |
|                                                                    | 0,5           | –11,5                              | 77                   | 88,5                 | 0,023                       |      |      |      |
| Асфальтобетон на в'язучому БНД 60/90 (П <sub>25</sub> = 70), тип Б | 0,01          | –16,5                              | 51                   | 67,5                 | 0,029                       | –    | 0,2  | –    |
| Асфальтобетон на в'язучому БНД 130/200+3 % Кратон Д 1101, тип Б    | 0,01          | –22                                | 42,5                 | 62,5                 | 0,027                       | –    | 0,21 | –    |

Температурні залежності модуля пружності (рис. 2) ЩМА мають характерні прямолінійні зони, що дозволяє встановити методом екстраполяції температуру в'язкопластичності ( $T_{вп}$ ) та склування ( $T_{ск}$ ), а також інтервал пластичності  $T_{пл}$  та коефіцієнт температурної чутливості  $\Delta \lg E^* / \Delta T$  (табл. 3).

Дані табл. 3 свідчать, що параметри температурної залежності ЩМА, асфальто- та асфальтополімербетону визначаються властивостями в'язучого, що зайвий раз підкреслює взаємозв'язок між реологічними властивостями бітумів та асфальтобетонів. За параметром  $T_{ст}$  ЩМА асфальтобетон та асфальтополімербетон не відрізняються. Проте, виходячи з даних табл. 3, перехід до в'язкопластичного стану ( $T_{вп}$ ) ЩМА та асфальтополімербетону суттєво відрізняється. Температура в'язкопластичності ( $T_{вп}$ ) асфальтополімербетону на 7–8 °С вища порівняно з ЩМА та звичайним асфальтобетонном. Для асфальтополімербетону також нижча температурна чутливість. Виходячи з цього, надзвичайно важливо встановити, як це позначається на показниках зсувостійкості ЩМА.

Фізико-механічні властивості щебеневомасикових асфальтобетонних сумішей, на яких проведено дослідження зсувостійкості, а окрім того, і тріщиностійкості, наведені в раніше опублікованій роботі [23].

Прийнятий стандарт на ЩМА [4] передбачає визначення границі міцності на розтяг за умови розколювання циліндричних зразків у разі температури 0 °С, що дозволяє оцінити

тріщиностійкість ЩМА. Стійкість ЩМА у випадку дії високих температур стандарт пропонує оцінювати за умовним зчепленням у разі зсуву, якщо температура 50 °С, та умовним коефіцієнтом внутрішнього тертя. Підсумковий результат ( $\tan \phi$  та  $C$ ) оцінюють на підставі обчислення роботи, витраченій на руйнування циліндричних зразків на одноосовий стиск та на стиск спеціальним обтискним пристроєм за схемою Маршалла.

Проте такі випробування не повною мірою дозволяють оцінити зсувостійкість ЩМА. До того ж такі схеми напруженого стану не повністю відтворюють механізм навантаження ЩМА, як це відбувається в покритті під дією рухомого складу транспортних засобів. У зв'язку з цим виникає необхідність застосовувати інші схеми випробування, які б дали змогу отримати додаткові відомості про зсувостійкість та тріщиностійкість ЩМА. На цей час існують метод чистого скручування та метод, що базується на вимірюванні колії в асфальтобетонному зразку після відповідної кількості проходів з нормованим навантаженням. Зсувні напруги викликають у покритті пластичні деформації та формують в асфальтобетоні за рахунок переміщення однієї поверхні щодо іншої колії та зсуви.

У цій роботі зсувостійкість ЩМА оцінювали за показником граничного опору зсуву ( $\tau_{zc}$ ) у разі температури 50 °С на зразках-циліндрах 70,1 мм та заввишки  $H = 140$  мм в умовах їх кручення (чистий простий зсув) за постійної швидкості завантаження.

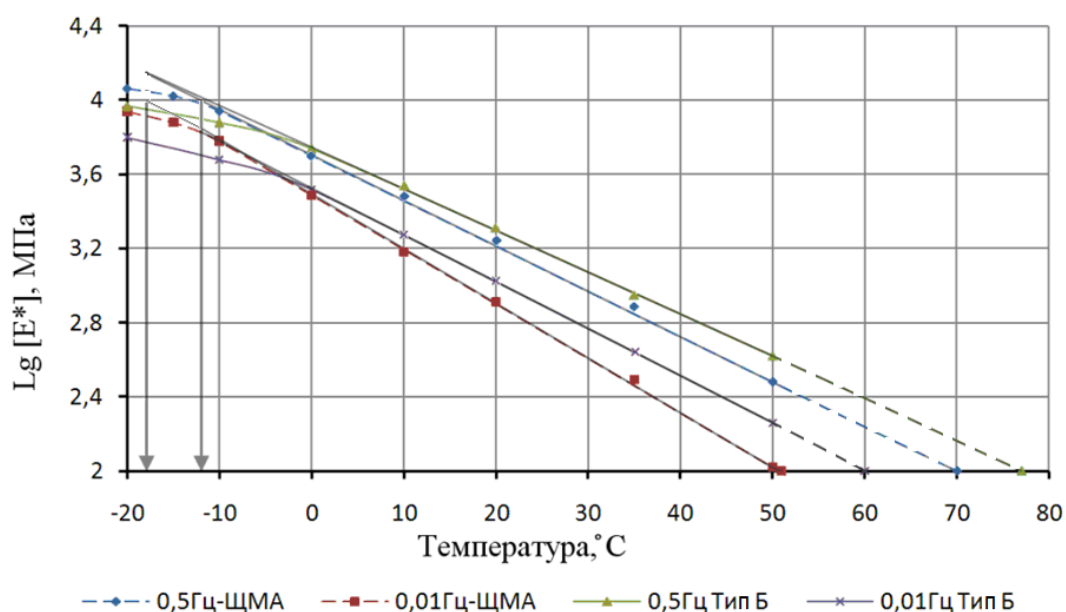


Рис. 2. Температурна характеристика комплексного модуля пружності асфальтополімербетону типу Б та ЩМА

Звісно, під дією колеса автомобіля в матеріалі покриття виникають не тільки зсувні зусилля, але й стискальні та згинальні. Проте саме застосована нами схема дозволяє уникнути складного напруженого стану (стиску та згину), що гарантує більш об'єктивну оцінку ролі стабілізуючої домішки та власне в'язучого. Отримані показники зсувостійкості ЦМА та наведені для порівняння в [24] результати досліджень зсувостійкості асфальто- та асфальтополімербетону зведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Зсувостійкість ЦМА, асфальтобетону та асфальтополімербетону

| Різновиди бетонів                                | Міцність на стиск $R_{50}$ , МПа | Зсувостійкість за умови 50 °С, $\tau_{зсув}$ , МПа |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| ЦМА на БНД 60/90 (0,3 % Dolanit)                 | 1,33                             | 0,13                                               |
| ЦМА на БНД 60/90 (0,5 % Viatop)                  | 1,40                             | 0,15                                               |
| Асфальтобетон типу Б на БНД 60/90                | 1,80                             | 0,16                                               |
| Асфальтобетон на БНД 90/130 3 % Кратон типу Б    | 2,42                             | 0,23                                               |
| Асфальтобетон типу Б на БНД 130/200 (3 % Кратон) | 2,27                             | 0,18                                               |

Наведені в таблиці дані свідчать про майже однакові показники зсувостійкості в разі скручування ЦМА з різними стабілізаторами та асфальтобетону типу Б на звичайному бітумі БНД 60/90. Проте в покритті зсувостій-

кість ЦМА буде вищою, ніж у звичайному асфальтобетоні, так як у шарі конструкції дорожнього одягу умови переміщення зерен щебеню ускладнені боковим опором. Дещо вища  $\tau_{зсув}$  ЦМА на стабілізаторі Viatop, що можна пояснити його більшим вмістом, ніж Dolanit. У той же час зсувостійкість асфальтополімербетону в 1,4–1,6 раза вища, що звичайно зумовлюється безпосередньою дією в'язучого на супротив зсуву. Спостерігається повна відповідність між показниками зсувостійкості та міцністю  $R_{50}$  (рис. 3). Про це свідчить значення коефіцієнта кореляційного зв'язку, який становить 0,92. Отже, можна констатувати, що введення до складу ЦМА бітумів, модифікованих полімерними домішками, сприяє росту зсувостійкості.

Показник тріщиностійкості ЦМА оцінювався шляхом випробування на згин зразків-брусків розміром 4x4x16 [20] за умови різних швидкостей прикладання навантаження 3 та 30 мм/хв та температур 20, 10 та 0 °С (вибір режимів випробування обумовлений особливостями роботи матеріалу в покритті, динамічним навантаженням від транспорту). Одночасно вивчався вплив різновиду стабілізуючих домішок (DOLANIT або VIATOR) на зміну показника  $R_{зг}$  у діапазоні прийнятих температур (рис. 4) та швидкостей деформування (табл. 5).

Експериментальні дані свідчать, що зі зниженням температури від +20 до 0 °С міцність на згин ( $R_{зг}$ ) ЦМА зростає. Це властиво як для швидкості дії навантаження  $V = 3$  мм/хв, так і для  $V = 30$  мм/хв.

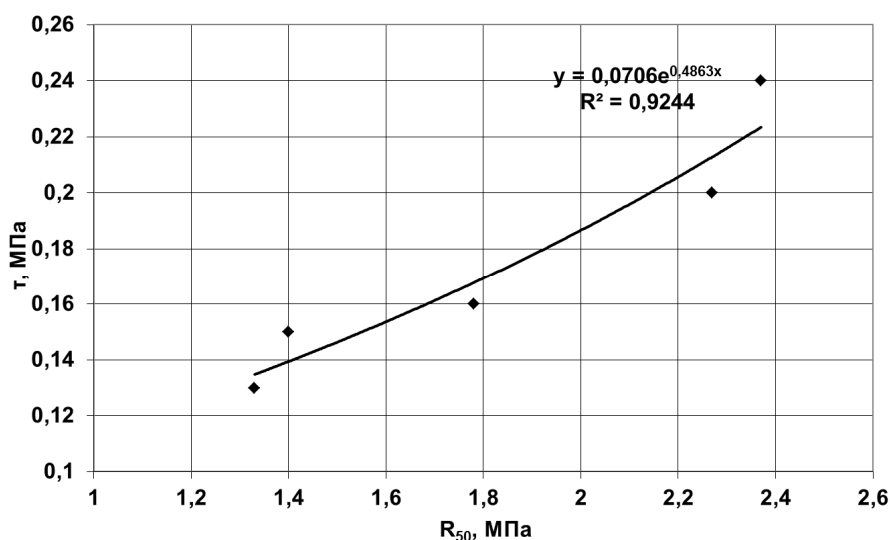


Рис. 3. Кореляційний зв'язок  $R_{50}$  –  $\tau_{зсув}$

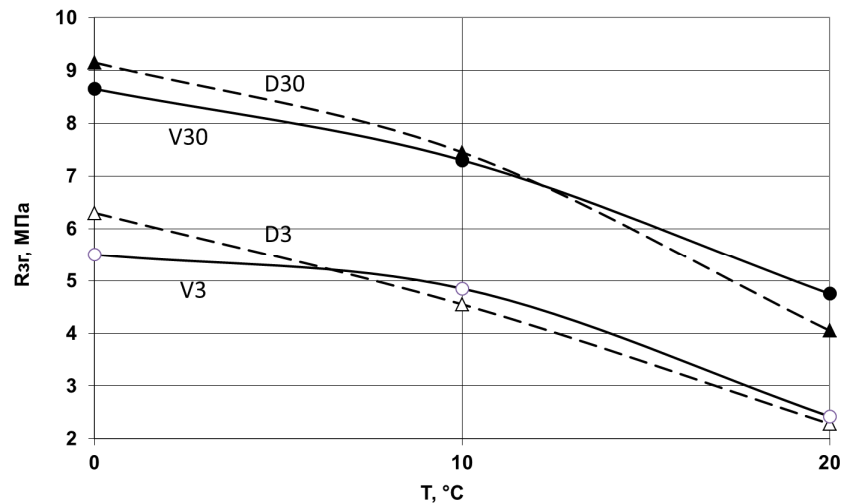


Рис. 4. Температурна залежність зміни  $R_{зг}$  ЩМА на різних «стабілізуючих» домішках: Viatop (— V3 та V30) та DOLANIT (--- D3 та D30)

Проте темп зміни  $R_{зг}$  зі зниженням температури для різних стабілізаторів різний. За умови температури 20 °C міцність на згин дещо вища у випадку VIATOR (як і вищий показник  $R_{20}$  та  $R_{50}$  на даному стабілізаторі). Це можна пояснити більшим його вмістом у ЩМА (0,5 %). Проте, якщо температура 10 °C, відбувається зближення значень цих показників, а вже в разі температури 0 °C  $R_{зг}$  міцність на згин у ЩМА на DOLANIT за умови її вмісту нижчому (0,3 %) стає більшим за міцність ЩМА на VIATOR в 1,2–1,3 раза залежно від швидкості випробування. Більш суттєве збільшення притаманне для DOLANIT як у разі  $V = 3$  мм/хв, так і  $V = 30$  мм/хв (табл. 5).

Таблиця 5 – Зміна темпу приросту  $R_{зг}$  ЩМА на різних стабілізуючих домішках за умови різних швидкостей деформування  $V$

| Відношення                                                             | Різновид стабілізуючої домішки |                 |                |                 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                                                                        | VIATOR                         |                 | DOLANIT        |                 |
|                                                                        | V = 3<br>мм/хв                 | V = 30<br>мм/хв | V = 3<br>мм/хв | V = 30<br>мм/хв |
| $R_{зг} 0\text{ }^{\circ}\text{C} / R_{зг} 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 2,26                           | 1,80            | 2,76           | 2,25            |

Можна зробити попередній висновок, що поліакрилові волокна (до них належить DOLANIT) здатні більшою мірою, ніж целюлозні гранульовані (VIATOR), посилити зміцнювальну протидію (мікроармування) динамічному навантаженню в роботі покриттів у разі знижених температур повітря. Звичайно ж, зроблені допущення щодо переваги тих чи інших полімерних синтетичних або целюлозних волокон та їх впливу на  $R_{зг}$  (а ще раніше  $\tau_{зс}$ ) робити передчасно, адже кожна група волокон має широкий спектр їх різновидів, які мають індивідуальні особливості.

### Висновки

На підставі проведених результатів досліджень деформаційно-міцнісних показників якості щебенево-мастикового асфальтобетону та порівняльного аналізу аналогічних показників звичайного асфальтобетону та асфальтополімербетону можна зробити такі висновки:

- у прийнятому діапазоні температур досліджень (–20 до +50 °C) та частот деформування (від 0,01 до 40 Гц) модуль пружності ЩМА змінюється за степеневою функцією та зростає з пониженням температури випробування та збільшенням частоти прикладання навантаження. Проте за абсолютним значенням модулів пружності ЩМА за умови позитивних температур (від 0 до +50 °C) поступаються асфальтополімербетонам, тоді як у разі низьких температур (–10 та –20 °C) навпаки стають вищими;

- параметри температурної залежності ЩМА та асфальтополімербетону на бітумах рівної консистенції відрізняються за інтервалом пластичності, здебільшого за параметром переходу до в'язкопластичного стану (ширше на 6–8 °C у асфальтополімербетону) та коефіцієнтом температурної чутливості (нижчий на 10 % у асфальтополімербетону), проте коефіцієнт пластичності за умови 20 °C вищий у ЩМА;

- показник зсувостійкості ЩМА, оцінка якого здійснена методом чистого скручування в разі температури 50 °C, характеризується приблизно рівними значеннями з асфальтобетонами на звичайному бітумі БНД 60/90, у той час як зсувостійкість асфальтополімербетону в 1,4–1,6 раза вища (що залежить від різновиду стабілізуючої домішки – вищий



для VIATOR). Установлено тісний кореляційний зв'язок між зсувостійкістю та міцністю, якщо 50 °C R<sub>50</sub>;

– температурні залежності зміни показника розтягу в умовах згину R<sub>зг</sub> ЩМА на різних стабілізуючих домішках за умови різних параметрів навантаження свідчать, що ЩМА на поліакрилових волокнах (DOLANIT) характеризуються вищою в 1,25 раза здатністю протидії навантаженню в разі низьких температур повітря, ніж ЩМА з целюлозними волокнами.

Ураховуючи нестабільність деформаційно-міцнісних показників якості ЩМА в різних експлуатаційних умовах їх роботи, виникає необхідність накопичення даних щодо властивостей матеріалу на різних стабілізуючих домішках, а також пошук різних умов випробування ЩМА. Це стосується розширення температурного діапазону випробувань і в оцінці показника розтягу під час згину й параметру зсувостійкості. Крім того, необхідною є оцінка колієстійкості асфальтобетону безпосередньо колієміром.

### Література

1. Krzysztof Blazejowski Stone Matrix Asphalt. Theory and Practice Warszawa: Rettenmaier Polska sp. z o.o. 2007. – 614 p.
2. Веренько В.А., Занкович В.В. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны – эффективный материал дорожных покрытий. Харьков: Вестник ХНАДУ. 2002. Вып. 19. С. 130–131.
3. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. Москва: Элит, 2009. 176 с.
4. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-127:2015 (Чинний від 01.07.2016). Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 30 с. (Національний стандарт України).
5. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004 (Чинний від 2005-01-01). Київ: Державна служба автомобільних доріг України «УКРАВТОДОР», 2004. 137 с. (Відомчі будівельні норми України).
6. Al-Hadidy A.I., Yi-qiu T. Effect of Styrene-Butadiene-Styrene on the Properties of Asphalt and Stone-Matrix-Asphalt Mixture. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2011. № 23. P. 504–510.
7. Mojtaba Ghasemi, Seyed Morteza M. Laboratory Investigation of the Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures Modified With RGP-SBS. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. Vol. 6. № 4. 2011. P. 1823–1834.
8. Kök Baha. Performance Evaluation of CR+Paraffin Modified Stone Mastic Asphalt. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2015. 38 p.
- URL: <https://mc06.manuscriptcentral.com/cjce-pubs> (дата звернення: 05.07.2019).
9. Nuha Salim Mashaan, Asim H. Ali, Suhana Koting, Mohamed Rehan K. Dynamic Properties and Fatigue Life of Stone Mastic Asphalt Mixtures Reinforced with Waste Tyre Rubber. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2013. P. 1–9.
10. Walaa S. Mogawer, Kevin Stuart D. Effects of Mineral Fillers on Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record*. 1996. № 1530. P. 86–94.
11. Limyn-Covarrubias P., Avalos Cueva D. Analysis of the Behavior of SMA Mixtures with Different Fillers Through the Semicircular Bend (SCB) Fracture Test. *Materials*. 2019. № 12. 15 p. URL: [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials) (дата звернення: 05.07.2019).
12. Imran Hafeeza, Kamala M.A., Mirza M.W. An experimental study to select aggregate gradation for stone mastic asphalt. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 38:1, P. 1–8. URL: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions> (дата звернення: 05.07.2019).
13. Donald Watson E. Updated Review of Stone Matrix Asphalt and Superpave® Projects. *Transportation Research Record*. 2003. № 1832. P. 217–223.
14. Lavasania M., Manouchehr Latifi N., Fartash H. Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels. *Construction and Building Materials*. 2015. № 95. P. 232–242.
15. Ratnasamy Muniandy, Bujang Huat B.K. Laboratory Diametral Fatigue Performance of Stone Matrix Asphalt with Cellulose Oil Palm Fiber. *American Journal of Applied Sciences* 3 (9). 2006. P. 2005–2010.
16. Yanping Sheng, Haibin Li, Ping Guo, Guijuan Zhao, Huaxin Chen, Xiong R. Effect of Fibers on Mixture Design of Stone Matrix Asphalt. *Appl. Sci.*, 2017. 7, 297. 12 p. URL: [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci) (дата звернення: 05.07.2019).
17. Mansour Fakhri, Pezhouhan T. Kheiry, Mirghasemi A. A. Modeling of the permanent deformation characteristics of SMA mixtures using discrete element method, *Road Materials and Pavement Design*, 2012. № 13:1. P. 67–84.
18. Асфальтобетонные покрытия / И.В. Королев, В.А. Золотарев и др.; под ред. М.И. Волкова. Донецк: Донбасс, 1970. С. 34–47.
19. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа, 1977. 116 с.
20. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-319:2016 (Чинний від 01.07.2016). Київ: УкрНДНЦ, 2017. 75 с. (Національний стандарт України).



21. Золотарьов В.О. Дослідження в'язкості бітуму при стаціонарному та циклічному деформуванні. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, 2002. Вип. 12. С. 105–110.
22. Золотарев В.А., Маляр В.В., Лапченко А.С. Реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом режиме деформирования // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. № 1. С. 10–13.
23. Псюрник В.А., Чугуенко С.А., Опришко А.В., Золотарев В.А. Роль волокон в формуванні фізико-механичних свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник ХНАДУ, 2005. № 30. С. 203–206.
24. Золотарев В.А., Чугуенко С.А., Галкин А.В. О взаимосвязи свойств битумополимерных вяжущих и сдвигоустойчивости асфальтобетона // Автошляховик Украины. 2004. № 3. С. 25–30.
9. Nuha Salim Mashaan, Asim H. Ali, Suhana Koting, Mohamed Rehan K. (2013). Dynamic Properties and Fatigue Life of Stone Mastic Asphalt Mixtures Reinforced with Waste Tyre Rubber. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2013. P. 1–9.
10. Walaa S. Mogawer, Kevin Stuart D. (1996) Effects of Mineral Fillers on Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record*. № 1530. P. 86–94.
11. Limyn-Covarrubias P., Avalos Cueva D. (2019). Analysis of the Behavior of SMA Mixtures with Different Fillers Through the Semicircular Bend (SCB) Fracture Test. *Materials*. № 12. P. 1–15. URL: [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials).
12. Imran Hafeeza, Kamala M.A., Mirza M.W. (2014). An experimental study to select aggregate gradation for stone mastic asphalt. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 38:1. P. 1–8. URL: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>.
13. Donald Watson E. (2003). Updated Review of Stone Matrix Asphalt and Superpave® Projects. *Transportation Research Record*. № 1832. P. 217–223.
14. Lavasania M., Manouchehr Latifi N., Fartash H. (2015). Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels. *Construction and Building Materials*. № 95. P. 232–242.
15. Ratnasamy Muniandy, Bujang Huat B.K. (2006). Laboratory Diameteral Fatigue Performance of Stone Matrix Asphalt with Cellulose Oil Palm Fiber. *American Journal of Applied Sciences* 3 (9). P. 2005–2010.
16. Yanping Sheng, Haibin Li, Ping Guo, Guijuan Zhao, Huaxin Chen, Xiong R. (2017). Effect of Fibers on Mixture Design of Stone Matrix Asphalt. *Appl. Sci.*, 7, 297. P. 1–12. URL: [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci).
17. Mansour Fakhri, Pezhouhan T. Kheiry, Mirghasemi A.A. (2012). Modeling of the permanent deformation characteristics of SMA mixtures using discrete element method, *Road Materials and Pavement Design*, №13:1. P. 67–84.
18. Асфальтобетонные покрытия [Asphalt pavement] / I.V. Korolev, V.A. Zolotarev i dr.; pod red. M.I. Volkova. Doneck: Donbass, 1970. P. 34–47.
19. Zolotarev V.A. Dolgovechnost' dorozhnykh asfal'tobetonov [Durability of road asphalt concrete]. Harkiv: Vishha shkola, 1977. 116 p.
20. Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy. Metody vyprobuvan': DSTU B V.2.7-319:2016 [Mixtures of asphalt concrete and road asphalt. Test methods: DSTU B V.2.7-319: 2016] (Chynnij vid 01.07.2016). Kyiv: DP «UkrNDNC», 2017. 75 p. (Nacional'nyj standart Ukrainy).
21. Zolotar'ov V.O. Doslidzhennja v'jazkosti bitumu pri stacionarnomu ta ciklichnomu deformuvanni

### References

- [Investigation of the viscosity of bitumen in stationary and cyclic deformation] *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kiïv, 2002. Vip. 12. P. 105–110.
22. Zolotarev V.A., Maljar V.V., Lapchenko A.S. Reologicheskie svoystva asfal'topolimerbetonov pri dinamicheskom rezhime deformirovaniya. [Rheological properties of asphalt polymer concrete in dynamic deformation]. *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*. 2008. № 1. P. 10–13.
  23. Psjurnik V.A., Chuguenko S.A., Oprishko A.V., Zolotarev V.A.. Rol' volokon v formirovanii fiziko-mekhanicheskikh svoystv shhebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [The role of fibers in the formation of physical and mechanical properties of crushed stone mastic asphalt concrete] *Vestnik HNADU*. 2005. № 30. P. 203–206.
  24. Zolotarev V.A., Chuguenko S.A., Galkin A.V. O vzaimosvjazi svoystv bitumopolimernykh vjazhushhih i sdvigoustojchivosti asfal'tobetona [The relationship between the properties of bituminous polymer binders and shear stability of asphalt concrete] *Avtoshljahovik Ukrainy*. 2004. № 3. P. 25–30.

**Псюрник Володимир Олександрович**, к.т.н., проф. каф. ТДБМХ, pvaps@ukr.net, тел. +380678128161

**Маляр Володимир Володимирович**, к.т.н, доцент каф. ТДБМХ, vladimirmalyar16@gmail.com, тел. +0380677189941

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### The effect of stabilizing additives on deformation performance of stone matrix asphalt

**Abstract.** The goal of the research is to establish the effect of stabilizing additives on a number of deformation and strength indicators responsible for ensuring the durability of stone matrix asphalt (SMA), which are the complex modulus of elasticity, shear stability and bending tension. The modulus of elasticity value measurement was made on KhNA-HU's vibration table using electrodynamic transducer in the temperature range from -20 °C to +50 °C. In the deformation frequency range from 0.01 Hz to 50 Hz, shear stability was estimated by the value of shear limit strength at the temperature of 50 °C on special cylinder samples in conditions of their torsion (simple shear). The bending tension value was estimated on beam sample at different load application rate at the design temperatures of 20 °C, 10 °C and 0 °C. According to temperature dependences of modulus of elasticity, the estimate of SMA physical parameters, such as conditional mechanical glass transition temperature, viscoplastic transition temperature and plasticity coefficient, was obtained. The values of shear limit strength with different stabilizing additives (VIATOP, DOLONIT) were obtained. A correlation between shear stability and compressive

strength at the temperature of 50 °C was established. Comparison of deformation properties of SMA with asphalt concrete and polymer asphalt concrete using the same consistency of binder was made. The effectiveness of SMA hardening by different stabilizing additives on the basis of temperature dependences of bending strength was determined. The plastic range and temperature sensitivity values of SMA are similar to those of asphalt concrete and polymer asphalt concrete. These parameters are mainly determined by the properties of binder, such as penetration, softening temperature, etc. Polymer asphalt concrete has the highest value of plastic range and the lowest one of temperature sensitivity. The similar patterns are obtained for shear stability. The choice of stabilizing additives affects the deformation-strength properties of SMA. To improve durability of SMA, it is necessary to use polymer modified bitumen.

**Key words:** stone matrix asphalt, stabilizing additives, deformation indicators, rheological properties, shear stability, crack resistance.

**Psiurnyk Volodymyr Oleksandrovych**, Professor, Candidate of Engineering Science, tel. +38-067-812-81-61, e-mail: pvaps@ukr.net

**Maliar Volodymyr Volodymyrovych**, Associate Professor, Candidate of Engineering Science, tel. +38-067-718-99-41,

e-mail: vladimirmalyar16@gmail.com

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

#### Влияние стабилизирующих добавок на деформационные показатели щебеночно-мастичного асфальтобетона

**Аннотация.** Проведены исследования влияния стабилизирующих добавок на значения модулей упругости ЦМА при разных температурах и условиях деформирования, исследована сдвигоустойчивость ЦМА. Выполнено сравнение полученных результатов с асфальтобетонами на обычных та битумополимерных вяжущих. Изучено влияние разновидностей стабилизирующих добавок на изменение показателя прочности на изгиб в зависимости от температуры испытания.

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичный асфальтобетон, стабилизирующие добавки, деформационные показатели, реологические свойства, сдвигоустойчивость, трещиностойкость.

**Псюрник Владимир Александрович**, к.т.н., проф. каф. ТДСМХ, pvaps@ukr.net, тел. +380678128161

**Маляр Владимир Владимирович**, к.т.н, доцент каф. ТДСМХ, vladimirmalyar16@gmail.com, тел. +0380677189941

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого, 25.