

© А. М. Онищенко, докт. техн. наук, професор,  
зав. кафедри мостів,  
тунелів та гідротехнічних споруд,  
ORCID: 0000-0002-1040-4530,  
e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com  
(Національний транспортний університет);  
© Д. Ю. Гусев, директор,  
ORCID: 0000-0002-6972-1944,  
e-mail: gusev.st-ts@ukr.net  
© О. Е. Цеханський, канд. техн. наук,  
керівник напрямку,  
ORCID: 0000-0002-4084-0720,  
e-mail: olegtsekh@ukr.net  
(ТОВ «КАПОНІР-ГРУПП»)

© Artur Onyshchenko, Doctor of Engineering, Pro-  
fessor, Chief Department of Bridges,  
Tunnels And Hydraulic Structures,  
ORCID: 0000-0002-1040-4530,  
e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com  
(National Transport University);  
© Dmytro Husev, Director,  
ORCID: 0000-0002-6972-1944,  
e-mail: gusev.st-ts@ukr.net  
© Oleg Tsekhansky, Candidate of Engineering,  
Head of the Department  
ORCID: 0000-0002-4084-0720,  
e-mail: olegtsekh@ukr.net  
(Caponier Group, LLC)

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АРМУЮЧИХ СИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ADFORS GLASGRID ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ ТА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИВІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### EXPERIMENTAL STUDY OF EFFICIENCY APPLICATION OF REINFORCING SYNTHETIC MATERIALS ADFORS GLASGRID FOR INCREASE RUTTING RESISTANCE AND CRACK RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS OF HIGHWAYS

**Аннотація.** Експериментально досліджено ефективність застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® для підвищення колієстійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг. Експериментально підтверджено, що армування верхнього шару асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® забезпечує надійну адгезію асфальтобетонних шарів та дає змогу значно збільшити колієстійкість, втому довговічність асфальтобетонного покриття та його міцність на розтяг при вигині. Це підтверджує можливість та доцільність використання армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобетонного покриття, зокрема на мостах і шляхопроводах, для підвищення тріщиностійкості, колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покриттів.

**Ключові слова:** колієстійкість, тріщиностійкість асфальтобетонних покриттів, асфальтобетонні покриття автомобільних доріг, довговічність, армуючі синтетичні матеріали, армовані асфальтобетонні шари

**Abstract.** The effectiveness of using Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials to increase the rutting resistance and crack resistance of asphalt concrete pavements of highways was experimentally studied. It has been experimentally confirmed that reinforcing the top layer of an asphalt concrete pavement with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials ensures reliable adhesion of asphalt concrete layers and can significantly increase the rutting resistance, fatigue life of the asphalt concrete pavement and its tensile strength in bending. Reinforcement of asphalt concrete pavement with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials allows increasing rutting resistance, that is, reducing the rut depth and total rutting area by 19–35%. At the same time, studies have shown that Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials have confirmed their effectiveness when used under the top layer of cover.

A study of the effect of reinforcement of asphalt concrete pavement on the adhesion of the upper and lower layers of asphalt concrete showed that all studied synthetic reinforcing materials Adfors GlasGrid® meet European requirements for the adhesion of reinforced asphalt concrete layers.

*A study of the influence of reinforcement of an asphalt concrete pavement on its fatigue resistance showed that the reinforcement of an asphalt concrete pavement with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials makes it possible to increase the number of load cycles up to a loss of fifty percent of the complex deformation modulus by 2.6 - 5.9 times compared to a non-reinforced pavement.*

*Experiments have confirmed that reinforcing an asphalt concrete pavement with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials increases its tensile strength in bending. This confirms the possibility and feasibility of using Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials under the top layer of asphalt concrete pavement, including on bridges and overpasses, to increase the crack resistance, rutting resistance and durability of asphalt concrete pavements.*

**Keywords:** rutting resistance, crack resistance of asphalt concrete pavements, asphalt concrete pavements of highways, durability, reinforcing synthetic materials, reinforced asphalt concrete layers

## Вступ

Найпоширенішими дефектами, що виникають у процесі експлуатації дорожніх покриттів автомобільних доріг, є тріщини та утворення колійності.

Тріщини утворюються за понижених температур від дії горизонтальних нормальних розтягуючих напружень у результаті згину під яас транспортних навантажень і коливань температури (низькотемпературне тріщиноутворення). Така недостатня температуростійкість асфальтобетонних шарів у всьому діапазоні температур під час експлуатації провокує прискорену руйнацію всієї конструкції дорожнього одягу, веде до непередбачених витрат ресурсів на ремонти, знижує комфортність і безпеку руху транспортних засобів. Також тріщиноутворення веде до низки відомих негативних явищ, що також суттєво впливають на зменшення довговічності автомобільних доріг.

Колійність ускладнює стік води з поверхні асфальтобетонного покриття, що провокує його прискорену руйнацію і, крім зниження комфортності проїзду, є причиною зниження безпеки руху. Результати відомих досліджень свідчать, що утворення колії неприпустимої глибини становить від 20 до 35 % усіх причин зниження транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг. У багатьох країнах встановлені нормативні межі допустимої глибини колії, а також допустимої товщини шару води в колії. Встановлено, що за високих швидкостей руху та швидкому виході з колії ризик виникнення ДТП перевищує нормативне значення, коли глибина колії становить близько 15–17 мм.

Така колія, зазвичай, може з'являтися в асфальтобетонному покритті вже на 3–5-й рік експлуатації.

Вирішення проблеми підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів особливо актуальною є на правих крайніх смугах руху мостів і шляхопроводів, на асфальтобетонних покриттях, укладених на відфрезеровану стару поверхню під час виконання ремонтних робіт, на міських вулицях та дорогах, зупинках громадського транспорту, перехрестях, перед світлофорними переходами.

Проектування конструкцій дорожніх одягів, стійких до утворення тріщин та колії, застосування сучасних технологій будівництва та ремонту асфальтобетонних покриттів дають змогу істотно підвищити довговічність та експлуатаційні властивості автомобільних доріг.

Сучасний світовий досвід свідчить, що застосування армуючих синтетичних матеріалів (далі – АСМ) для армування асфальтобетону дає змогу запобігти передчасному тріщино- та колієутворенню в асфальтобетонному покритті та значно збільшити міжремонтний термін та довговічність дорожніх покриттів автомобільних доріг, міських вулиць, мостів і шляхопроводів.

У нашій роботі висвітлюються результати експериментальних досліджень ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® виробництва компанії “Saint-Gobain Adfors CZ” (Чехія) для підвищення колієстійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних

покривів автомобільних доріг, міських вулиць та доріг, мостів і шляхопроводів.

Експериментально досліджено можливість, ефективність і доцільність армування верхнього шару асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® для збільшення довговічності дорожнього одягу.

### Основна частина

Армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® – це скловолоконна високоміцна ґратка, покрита запатентованим еластомерним полімером, що дає змогу забезпечити максимально повне об'єднання зі структурою асфальтобетону і досягти суттєвого армуючого ефекту. Завдяки цьому значно знижується ризик появи температурних, утомних і відображених тріщин в асфальтобетонних покриттях, та ризик колієутворення, суттєво зменшуються витрати на будівництво, ремонт та утримання автомобільних доріг і подовжується термін служби дорожнього одягу.

АСМ Adfors GlasGrid® протестовані в провідних лабораторіях Європи і світу, а також в лабораторіях Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП "НІРІ"), Національного транспортного університету (НТУ), Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД).

Науково-технічна робота щодо дослідження ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобе-

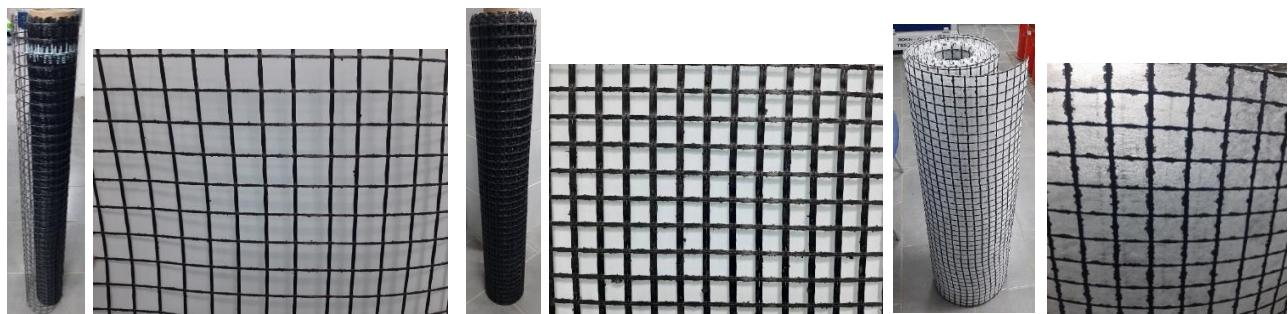
тонного покриття проїзних частин автомобільних доріг та міських вулиць та доріг виконана на лабораторному обладнанні Центра випробувань ДП «Дорцентр» та кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ.

Досліджувалось три армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid®, а саме:

- армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® GG50 – самоклеюча міцна ґратка з жорсткою структурою зі скловолокна типу Е, покрита запатентованим еластомерним полімером та самоклеючим нижнім шаром, що активується тиском, з міцністю на розтяг  $55 \times 55 \pm 5$  КН/м та максимальним відносним подовженням  $2,5 \pm 0,5$  % [1] (**рис. 1-а**);

- армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® GG100 – самоклеюча міцна ґратка з жорсткою структурою зі скловолокна типу Е, покрита запатентованим еластомерним полімером та самоклеючим нижнім шаром, що активується тиском, з міцністю на розтяг  $115 \times 115 \pm 15$  КН/м та максимальним відносним подовженням  $2,5 \pm 0,5$  % [1] (**рис. 1-б**);

- армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® CG50L – композиційний матеріал, що складається з міцної ґратки зі скловолокна типу Е, покритої запатентованим еластомерним полімером, та шару нетканого текстильного матеріалу, з міцністю на розтяг  $55 \times 55 \pm 5$  КН/м та максимальним відносним подовженням  $2,5 \pm 0,5$  % [1] (**рис. 1-в**).



а) Adfors GlasGrid® GG50 б) Adfors GlasGrid® GG100 в) Adfors GlasGrid® CG50L

**Рис. 1.** Армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid®, що досліджувалися

Для випробувань виготовлялись зразки у вигляді двох асфальтобетонних плит, розташованих одна на одній. Двошарові асфальтобетонні зразки-плити ущільнювались на секторному пресі згідно з ДСТУ EN 12697-3.

Для виготовлення зразків-плит було застосовано асфальтобетонну суміш типу А з максимальним розміром зерен 20 мм із застосуванням бітуму дорожнього в'язкого марки БНД 70/100 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119. Під час приготування двошарових зразків-плит між шарами застосовано емульсію бітумну дорожню марки ЕКШ-60, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-129.

Виготовлені зразки досліджувались за такими критеріями:

1) колієстійкість – згідно з ДСТУ EN 12697-22:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність»;

2) адгезія між асфальтобетонними шарами – згідно з EN 12697-48:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 48: Зчеплення між шарами»;

3) втомна довговічність – згідно з ДСТУ EN 12697-24:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі. Додаток D. Випробування зразків призматичної форми на чотириточковий згин»;

4) міцність на розтяг при вигині – згідно з ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Розділ 18. Визначення границі міцності на розтяг при вигині».

Для виконання досліджень в лабораторних умовах імітувалось армування верхнього шару асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами, а також для порівняння і

оцінки ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів досліджувались зразки-плити без армування.

При цьому, в усіх зразках у нижньому асфальтобетонному шарі імітувалась тріщина.

#### *Колієстійкість*

Здатність армованого асфальтобетонного покриття до деформування та стійкість до утворення колії оцінювались вимірюванням глибини колії, що виникає в зразках-плитах (**рис. 2**) у результаті багаторазового проходу навантаженого колеса за постійної температури, на установці для випробування на колієутворення асфальтобетону DWT виробництва CONTROLS, Італія (**рис. 3**).

Випробування виконувалось колесом з гумовою шиною шириною  $50 \pm 5$  мм та зовнішнім діаметром 200-205 мм. Навантага від колеса на зразок становила 700 Н.

Випробування проводились у два етапи:

1) при робочій температурі 50 °С, кількість циклів: 10 000 (20000 проходів колеса);

2) при робочій температурі 60 °С, кількість циклів: 10 000 (20000 проходів колеса).

Перед кожним етапом випробування зразки термостатувались протягом 6 годин.

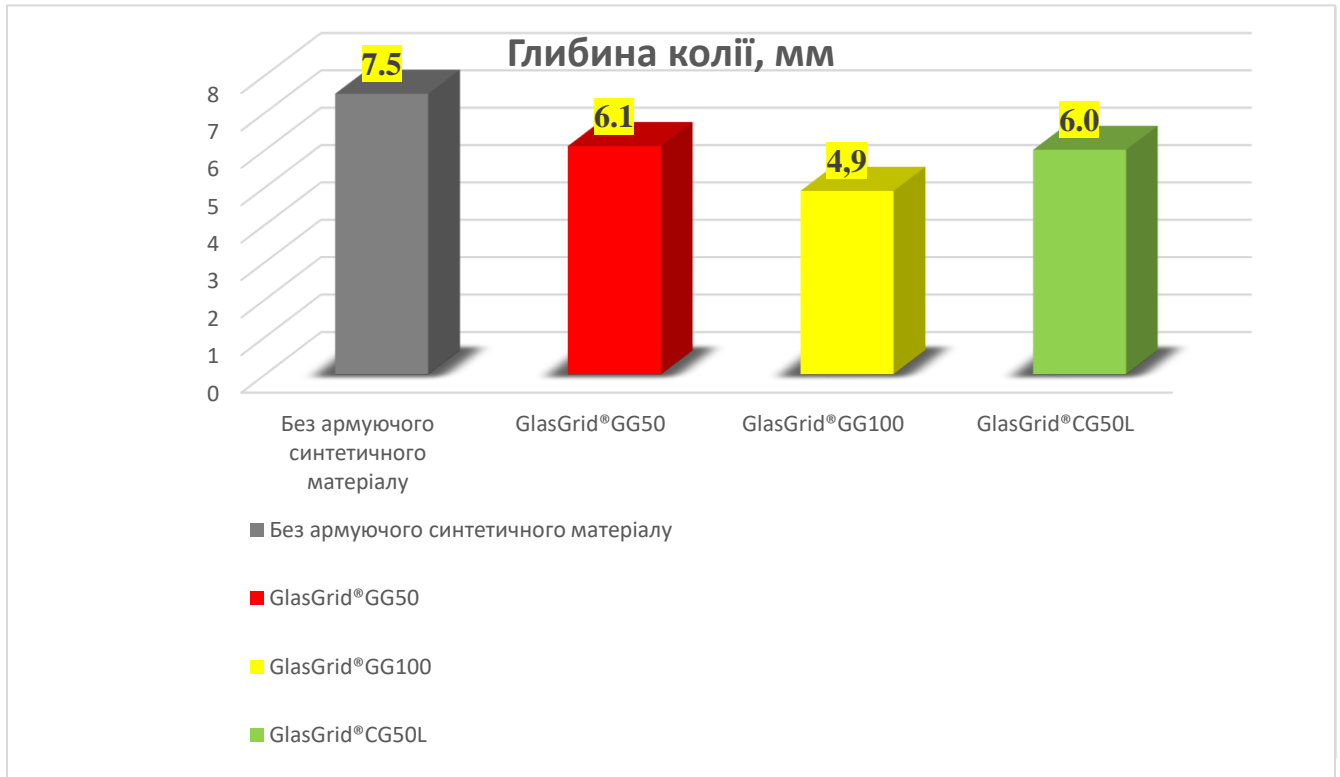
Результати випробування асфальтобетонних зразків-плит на колієстійкість наведені на **рис. 4**.



**Рис. 2.** Зразок-плита для випробування на визначення глибини колії



**Рис. 3.** Установка для випробування двошарових асфальтобетонних зразків-плит на колієстійкість та розміщення зразків-плит у формах



**Рис. 4.** Діаграма порівняння середніх значень кінцевих результатів глибини колії на зразках-плитах після 20 000 циклів навантаження

Результати випробувань свідчать про значне збільшення колієстійкості (тобто зменшення глибини колії та загальної площини колієутворення) зразків-плит з армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® у порівнянні із зразком-плитою без армуючого матеріалу, а саме:

- у армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® GG50 зменшення глибини колії на 18,7 %;

- у армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® GG100 – на 34,7 %;

- у армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® CG50L – на 20,0 %.

Ці результати збігаються з результатами випробувань в Університеті Північної Кароліни (США), виконаних для матеріалів Adfors GlasGrid® для інших складів асфальтобетонного покриття. За температури +50 °C та 400 000 циклів навантаження спостерігалось зменшення

глибини колії у армованому асфальтобетонному покритті на 25 % порівнянно з неармованим покритвом [2-4].

Після проведення випробувань був проведений аналіз торців зразків-плит, а саме як відбулось переміщення мінерального заповнювача у верхньому та нижньому шарах. У верхньому асфальтобетонному шарі зразків спостерігалось руйнування зв'язків між мінеральним заповнювачем та органічним в'язучим, утворилися тріщини. Також відбувалось витіснення матеріалу біля країв колії на поверхню (за лінію початкового профілю). У нижньому асфальтобетонному шарі візуально спостерігався поздовжній зсув окремих частинок крупного заповнювача. При цьому у зразках-плитах, армованих армуючими синтетичними матеріалами GlasGrid®, руйнівні процеси у верхньому та нижньому шарі зконцентровані в проекції колії, не значно виходячи за межі, і складають 70-85 мм, а у зразку-плиті без армуючого матеріалу деформації значно

виходять за межі проєкції колії і складають понад 100 мм.

Результати експериментів показали, що всі досліджені армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® при їх застосуванні під верхнім шаром покриття значно покращують загальні умови роботи асфальтобетонного покриття. Їх застосування дає змогу значно зменшити глибину колії та загальну площину колієутворення, тобто підвищити колієстійкість армованого асфальтобетонного покриття.

#### *Адгезія між асфальтобетонними шарами*

Адгезія між асфальтобетонними шарами оцінювалась випробуванням на міцність зчеплення при зсуві (*SBT*) циліндричних зразків (кернів) діаметром 153,5 мм, відібраних з попередньо заформованих асфальтобетонних двошарових зразків-плит (**рис. 5**).

Дослідження виконувалось для того, щоб оцінити, як армування асфальтобетонних шарів армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® впливає на адгезію між шарами.

Перед проведенням випробування зразки термостатувалися при температурі + 21°C протягом 6 годин.



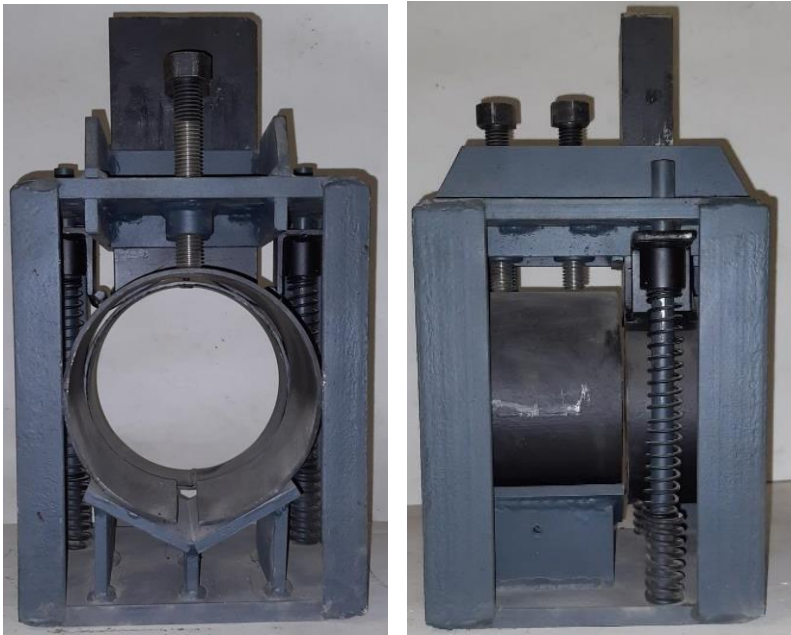
**Рис. 5.** Випилювання кернів для випробування зі зразків-плит

Оцінювалась стійкість до горизонтальних напруг зсуву в прошарку з двох асфальтобетонних шарів (тобто стійкість до навантажень, що виникають передусім під час прискорення або гальмування транспортних засобів), а також якість міжшарового зчеплення шару покриття з нижнім асфальтобетонним шаром.

Загальний вигляд приладу для випробування наведено на **рис. 6**.

Циліндричні зразки для випробування піддавалися прямій навантазі на зсув із постійною швидкістю 50 мм/хв. Реєструвався розвиток деформації і сили зсуву, а максимальна зареєстрована напруга зсуву визначалася як межа міцності на зсув (в МПа) на межі розділу між шарами.

Навантажування зразку здійснювалось через тензодатчик Zemic H3-C3\_3.0t, підключений до ПК з відповідним програмним забезпеченням, що дає змогу фіксувати максимальне зусилля зсуву та будувати графічну залежність у режимі реального часу.



**Рис. 6.** Загальний вигляд приладу для випробування на міцність зчеплення при зсуві (SBT)

Максимальна напруга зсуву розраховувалась за формулою:

$$\tau_{SBT,max} = \frac{F_{SBT,max}}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2} \times 1000, \quad (1)$$

де  $\tau_{SBT,max}$  – максимальна напруга зсуву на межі поділу, МПа;

$F_{SBT,max}$  – максимальна вертикальна сила зсуву, кН;

$D$  – початковий діаметр зразка в проміжному шарі, мм.

Розраховане середнє значення величини максимальної напруги зсуву  $\tau_{SBT,max}$  становило:

- для зразків без армування армуючим синтетичним матеріалом – 1,169 МПа;

- для зразків з армуванням самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50 – 1,098 МПа;

- для зразків з армуванням самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG100 – 0,988 МПа;

- для зразків з армуванням геораткою з підложкою Adfors GlasGrid® CG50L – 0,961 МПа.

Результати випробувань свідчать, що найбільша адгезія асфальтобетонних

шарів спостерігалась у зразків без армування, потім у порядку зменшення у зразків з армуванням самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50, далі у зразків з армуванням самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG100, після чого у зразків з армуванням геораткою з підложкою Adfors GlasGrid® CG50L.

На даний момент часу в Україні не існує вимог щодо значення максимальної напруги зсуву  $\tau_{SBT,max}$ , отриманого за методикою випробування згідно з EN 12697-48. У літературних даних зустрічається згадування нормативного документу DIN 1996 Teil 7. Prüfung von Asphalt. Bestimmung von Rohdichte, Raumdichte, Hohiraumgehalt und Verdichtungsgrad. – Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 1992. 10 S, який регламентує, що чисельне значення величини опору зсуву керна діаметром 0,15 м, випробуваного за методикою EN 12697-48, має становити не менше 15 кН.

Отже, можна констатувати, що всі армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® відповідають європейським вимо-

гам до адгезії армованих асфальтобетонних шарів. При цьому, армування самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50 практично не зменшує адгезію асфальтобетонних шарів (різниця 6 % порівнянно з адгезією неармованих шарів), а армування георатками Adfors GlasGrid® GG100 та Adfors GlasGrid® CG50L забезпечує надійну адгезію асфальтобетонних шарів.

### *Втомна довговічність*

Втомна довговічність оцінювалась випробуванням зразків прямокутної форми (призматичних балочок) на чотириточковий згин згідно з ДСТУ EN 12697-24:2018. Призматичні балочки 360х60х60 мм нарізалися з попередньо заформованих двошарових асфальтобетонних зразків-плит, висушених до постійної маси у повітряному середовищі вологістю повітря не менше ніж 80 % і за температури не вище ніж 20 °С (рис. 7).



**Рис. 7.** Зразок-балка для проведення випробування втомну довговічність при чотириточковому згині

Ширина та висота зразків-плит складала 60 мм, зокрема висота верхнього шару 40 мм, нижнього 20 мм. Таке співвідношення було вибрано для того, щоб армуючий синтетичний матеріал перебував в активній зоні, тобто в розтягнутій зоні під час згину зразка.

Випробувальна температура +20 °С (втомні тріщини вважаються основною проблемою за температури +20 °С).

Термостатування зразків-балочок проводилось впродовж 2 годин.

Випробування проводились на сервогидравлічній системі динамічних випробувань на 30 кН DTS-30 фірми Matest (Італія) (рис. 8).

Для проведення випробування був вибраний рівень мікродеформацій 200  $\mu\epsilon$ , що дало змогу прикладати приблизно 10 000 циклів навантаження до моменту, коли початкова жорсткість зразка зменшиться на 50 %.

Втомна довговічність армованого асфальтобетону оцінювалась за кількістю циклів навантаження, за яких стандартний модуль деформації зразка-балки зменшується на 50 % від вихідного значення.

Результати випробування асфальтобетонних зразків-балок на втомну довговічність наведені на рис. 9.



**Рис. 8.** Пристрій для випробування призматичних зразків-балок на втомну довговічність при чотириточковому згині та розміщення зразка-балки у пристрої



**Рис. 9.** Діаграма результатів випробування на втомну довговічність при чотириточковому згині для визначення втомної довговічності асфальтобетонного покриття, армованого армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® у порівнянні з неармованим асфальтобетонним покриттям

Результати випробувань свідчать, що зразки, армовані армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid®, показали значно вищу втомну довговічність порівнянно зі зразками без армування.

Зокрема, приріст кількості циклів до втрати 50 % комплексного модуля деформації у співвідношенні до зразка без армування армуючим синтетичним матеріалом становить:

- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50 – у 2,6 рази;

- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG100 – у 3 рази;

- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – геораткою з підложкою Adfors GlasGrid® CG50L – у 5,9 разів.

Отже, армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дає змогу збільшити кількість циклів навантаження до втрати 50 % комплексного модуля деформації в 2,6 – 5,9 разів (тобто на 160 % – 490 %) у порівнянні з неармованим покритвом.

Отримані результати підтверджують результати досліджень [6], виконаних в Університеті Белграду, а також результати досліджень Пармського Університету та натурних експериментів на кільцевому стенді IFSTTAR (Франція) та випробувальному кільці Національного центру асфальтних технологій (NCAT) при Обернському Університеті в штаті Алабама, США [3, 4], за результатами яких стверджується, що армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid підвищує його тріщиностійкість і довговічність не менше ніж у 3 рази.

Отже, отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобетонного покриття дає змогу значно збільшити опір втомі та втомну довговічність асфальтобетонного покриття.

#### *Міцність на розтяг при вигині*

Оцінка міцності на розтяг при вигині полягає у визначенні граничної напруги, що призводить до руйнування зразка при чистому вигині.

Випробування проводили на призматичних зразках-балках, вирізаних з попередньо заформованих двошарових асфальтобетонних плит. Для того, щоб армуючий синтетичний матеріал перебував у розтягнутій зоні зразка-балки під час вигину, товщина верхнього шару становила  $\frac{3}{4}$  висоти зразка-балки, та нижнього шару становила 3 см, а товщина нижнього шару – відповідно  $\frac{1}{4}$  висоти зразка-балки.

Перед випробуванням зразки-балки термостатувалися за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Випробування проводили на універсальній машині (пресі) для випробувань на стиск до 50 кН UNITRONIC фірми Matest (Італія) за швидкості навантажування  $(3,0 \pm 0,1)$  мм/хв. (рис. 10).

Границя міцності на розтяг при вигині  $R_{виг}$  у мегапаскалях обчислювалася за формулою:

$$R_{виг} = (3F \times a) / (b \times h^2), \quad (2)$$

де  $F$  – руйнівна навантага (максимальне показання силовимірювача), Н;

$a$  – відстань між осями верхньої і нижньої опор, мм;

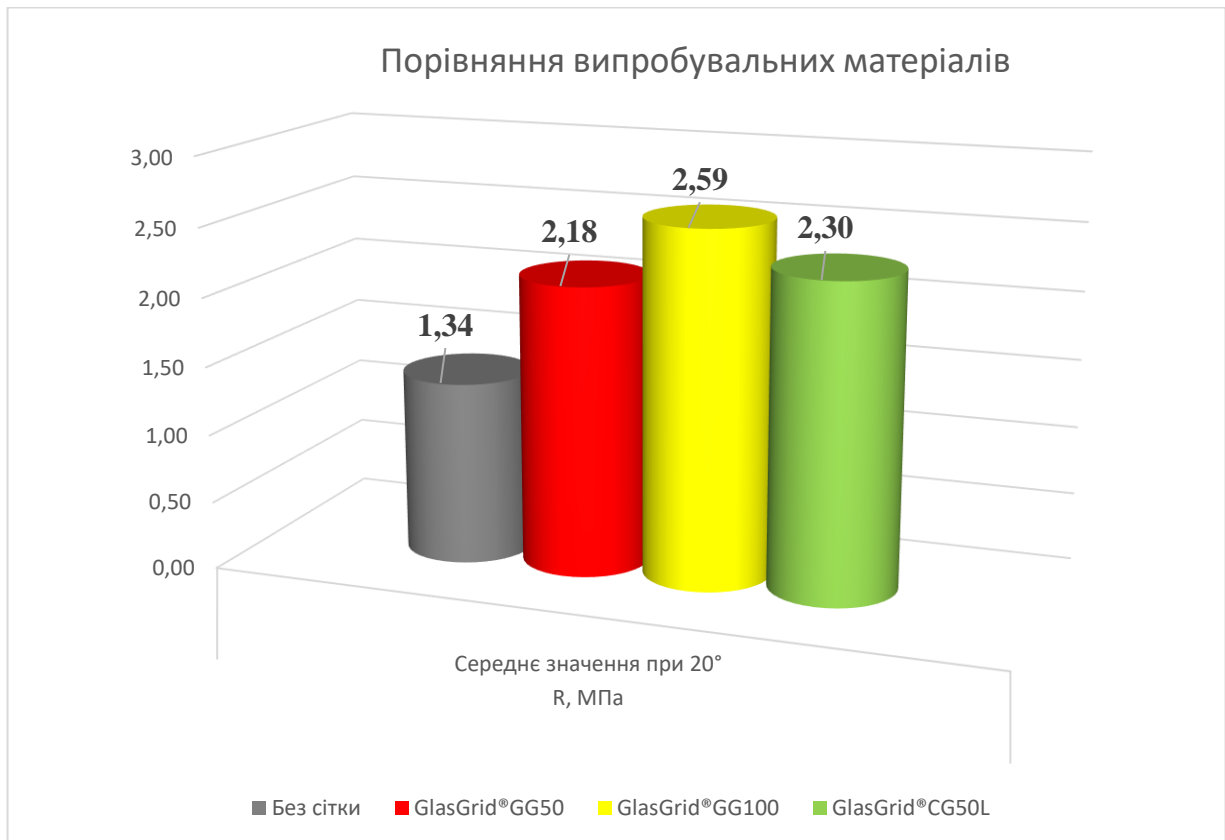
$b$  – товщина зразка, мм;

$h$  – висота зразка, мм.

Результати випробувань наведені на рис. 11.



**Рис. 10.** Універсальна машина (прес) для випробувань на стиск до 50 кН UNITRONIC фірми Matest (Італія) та зразок-балка з навантажувальними і опорними стрижнями



**Рис. 11.** Діаграма порівняння результатів випробувань зразків-балок із визначення границі міцності на розтяг при вигині

Як і очікувалось, результати випробувань свідчать, що армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами підвищує його міцність на розтяг. Міцність на розтяг армованого асфальтобетону у порівнянні з асфальтобетоном без армування армуючим синтетичним матеріалом підвищується для різних армуючих синтетичних матеріалів так:

- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50 – на 63%;
- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG100 – на 93%;
- зразки, армовані армуючим синтетичним матеріалом – геораткою з підложкою Adfors GlasGrid® CG50L – на 72%.

Отже, результати випробувань на визначення міцності на розтяг при вигині підтверджують ефективність використання армуючих синтетичних матеріалів.

### **Висновки**

#### *Колієстійкість*

Випробування армованого асфальтобетонного покриття на стійкість до утворення колії показало, що армування значно підвищило колієстійкість асфальтобетонного покриття.

Армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дає змогу збільшити колієстійкість, тобто зменшити глибину колії та загальну площу колієутворення на 19 – 35 %. При цьому, найбільшій колієстійкості асфальтобетонного покриття можна досягнути при його армуванні георатками Adfors GlasGrid GG100.

Армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® збільшують колієстійкість, а отже, і довговічність асфальтобетонного покриття. Крім цього, дослідження показали, що армуючі синтетичні матеріали

Adfors GlasGrid® підтвердили свою ефективність під час їхнього використання під верхнім шаром покриття.

#### *Адгезія до асфальтобетонних шарів*

Дослідження впливу армування асфальтобетонного покриття на адгезію верхнього і нижнього шарів асфальтобетону показало, що всі досліджені армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® відповідають європейським вимогам до адгезії армованих асфальтобетонних шарів. Зокрема армування самоклеючою геораткою Adfors GlasGrid® GG50 забезпечує таке ж зчеплення між асфальтобетонними шарами, як у неармованого асфальтобетонного покриття, а армування георатками Adfors GlasGrid® GG100 та Adfors GlasGrid® CG50L трохи зменшує це зчеплення, але повністю відповідає європейським вимогам, тобто забезпечує надійну адгезію асфальтобетонних шарів.

#### *Опір втомі*

Дослідження впливу армування асфальтобетонного покриття на його опір втомі показало, що армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє збільшити кількість циклів навантаження до втрати 50 % комплексного модуля деформації в 2,6 – 5,9 разів у порівнянні з неармованим покриттям. Найбільший ефект досягається з армуванням асфальтобетонного покриття георатками з підложкою Adfors GlasGrid® CG50L.

Отже, отримані результати дають змогу зробити висновок, що застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобетонного покриття значно збільшують опір втомі та втомну довговічність асфальтобетонного покриття.

#### *Границя міцності на розтяг*

Досліди підтвердили, що армування асфальтобетонного покриття армуючими синтетичними матеріалами збільшує його границю міцності на розтяг при вигині. Найбільший ефект досягається при армуванні асфальтобетонного покриття самоклеючими георатками Adfors GlasGrid®.

Цей матеріал має найбільшу міцність на розтяг з тих, що випробувалися – не менше 100 кН/м. Тому і асфальтобетон, армований цим армуючим синтетичним матеріалом, має найбільшу границю міцності на розтяг при вигині.

За результатами комплексного дослідження доведено безперечну можливість застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® для армування верхнього шару асфальтобетонного покриття.

Отже, за результатами всіх досліджень доведено ефективність армування армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® верхнього шару асфальтобетонного покриття. Це підтверджує можливість та доцільність використання армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобетонного покриття, зокрема на мостах і шляхопроводах, для підвищення тріщиностійкості, колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покриттів.

Автори висловлюють свою вдячність дослідникам і науковцям ДП «Дорцентр» та кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного

університету за їх неоціненний внесок та допомогу в здійсненні експериментальних досліджень.

### References

1. GlaGrid. (2020). Reinforcing geogrids for asphalt concrete GlaGrid®. Minicatalog.
2. Kimb, Y. R., S. Lee, Y. Seo, O. El-Haggan. (2005). Impact of Price Reductions on the Long-Term Pavement Performance of HMA Mixes in North Carolina," Final report to the North Carolina Department of Transportation, Report No. FHWA/NC/2005-09.
3. Adfors Saint-Gobain. (2020). GlasGrid for asphalt overlays. Summary of GG tests GlasGrid for asphalt overlays.
4. Adfors Saint-Gobain. (2020). Adfors GlasGrid for asphalt overlays. Technical Manual.
5. Asphalta Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH. (2015). Investigations into the performance of asphalt inlays, Test Report No. 1408005.
6. M. Orešković, S. Trifunović, G. Mladenović, Š. Bohuš. (June 12-14, 2019). Fatigue resistance of a grid-reinforced asphalt concrete using four-point bending beam test. Proceedings of the 7th International Conference 'Bituminous Mixtures and Pavements' (7ICONFBMP). Thessaloniki, Greece.