

УДК 625.8

Жданок В.К.д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків**Воловик О.О.**к.т.н., доцент кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків**Циркунова К.В.**

к.т.н., головний фахівець ДП «Укрдорінвест», м. Київ

Гнатенко Р.Г.

директор ТОВ «Вишень», м. Київ

Біжан О.П.інженер кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ БІТУМІНОЗНОГО ГЕРМЕТИЗУЮЧОГО МАТЕРІАЛУ З ПОВЕРХНЕЮ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ В ЗОНІ ТРІЩИНИ

***Анотація.** Розглянуто вплив факторів зовнішнього середовища на утворення тріщин в асфальтобетонних покриттях конструкцій дорожніх одягів. Приведені результати експериментальних досліджень впливу температури на міцність зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею покриття конструкції дорожнього одягу в зоні тріщини. Встановлено, що прогріття поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини безпосередньо перед її герметизацією сприяє утворенню більш міцних адгезійних зв'язків між нею та герметизуючим матеріалом.*

***Ключові слова:** герметизуючий матеріал гарячого застосування, асфальтобетонне покриття, тріщина, рівномірний відрив, максимальне зусилля відриву, міцність зчеплення, температура.*

Постановка проблеми

У процесі експлуатації конструкцій дорожнього одягу автомобільних доріг верхній асфальтобетонний шар покриття знаходиться під постійним прямим впливом факторів зовнішнього середовища і тому є найбільше вразливим щодо руйнування. За умов спільного тривалого циклічного впливу механічних навантажень від транспортних засобів та сезонних добових коливань низьких температур в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу можуть накопичуватись напруження, що перевищують міцність асфальтобетону під час розтягу. Результати моніторингу стану конструкцій дорожнього одягу в Україні свідчать про наявність в асфальтобетонних шарах покриття значної кількості тріщин. Аналогічна ситуація спостерігається на мережі автомобільних доріг у країнах із різкоконтинентальним кліматом.

Тривала експлуатація дорожнього одягу з тріщинами в асфальтобетонному шарі покриття неодмінно викличе більш суттєву руйнацію всієї конструкції та збільшення в подальшому експлуатаційних витрат на ремонтні роботи. Герметизація тріщин в асфальтобетонному шарі покриття на ранній стадії їх утворення дозволяє подовжити термін його експлуатації та суттєво збільшити довговічність усїєї конструкції дорожнього одягу.

Мастики гарячого застосування на основі бітумів знаходять широке використання під час виконання робіт із герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожнього одягу автомобільних доріг. Очевидно, що довговічність конструкцій дорожніх одягів залежить від якості бітумних мастик, які застосовуються для їх захисту від агресивного впливу зовнішніх факторів. При цьому для забезпечення необхідної довговічності конструкції дорожнього одягу властивості бітумних мастик повинні задовольняти умови роботи конструкції, яку захищають.

Аналіз останніх досліджень

Як основний компонент матеріалів для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг традиційно використовують нафтові бітуми. Для забезпечення нормованих [1] показників властивостей їх традиційно модифікують добавками полімерів, наповнювачів та, в разі необхідності, пластифікують.

Полімери класу термопластів (типу АПП) та термоеластоластів (типу СБС) набули найбільшого поширення як компоненти герметизуючих матеріалів, що надають їм підвищеної теплостійкості під час високих літніх температур і деформативності під час низьких зимових температур. Зважаючи на те, що модифікація бітуму 30% АПП забезпечує нижчу деформативність під час низьких температур, ніж 15% СБС, за умов практично однакової теплостійкості, полімерам класу термоеластоластів віддають перевагу, оскільки вони забезпечують герметизуючому матеріалу одночасно високу теплостійкість та еластичність [2].

Дослідженнями впливу наповнювачів на властивості герметизуючих матеріалів на основі бітумів встановлено [2–4], що введення дрібнодисперсних мінеральних наповнювачів спричиняє досить помірне підвищення їх теплостійкості та погіршує їх дуктильність і гнучкість за умов низьких температур. Серед порошкоподібних мінеральних наповнювачів найбільшого розповсюдження отримали каолін, тальк, крейда, талькомагнезит.

Головну роль у забезпеченні герметизуючому матеріалу еластичності, теплостійкості та деформативності за низьких температур відіграє полімер. Введення наповнювача в бітумно-полімерну композицію приводить до достатньо помірного додаткового підвищення теплостійкості та зменшення деформативності. Додавання пластифікатора забезпечує герметизуючому матеріалу зростання гнучкості за умов низьких температур [2].

Однією з головних характеристик герметизуючого матеріалу, яка суттєво впливає на забезпечення тривалої експлуатації його в загерметизованій тріщині або зверху неї, є міцність зчеплення з поверхнею, до якої він повинен бути приклеєним. Для забезпечення максимально ефективної роботи герметизуючий матеріал повинен бути міцно приклеєним до асфальтобетону.

Спостереженнями за поведінкою герметизованих тріщин в асфальтобетонних покриттях встановлено [5; 6], що за умов низьких температур у розкритті тріщин може відбуватись адгезійний, когезійний або адгезійно-когезійний тип руйнування герметизуючого матеріалу. Когезійний тип руйнування, для якого характерне руйнування герметизуючого матеріалу в його об'ємі (при цьому він залишається приклеєним до поверхні асфальтобетону в тріщині), менше поширений під час термічного скорочення асфальтобетонного покриття. У таких умовах значно поширенишим є адгезійний тип руйнування (відклеювання на межі між герметизуючим матеріалом і поверхнею асфальтобетону). Герметизуючий матеріал втрачає адгезійну міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону, коли напруження розтягу, що виникають за рахунок термічного скорочення покриття і розкриття тріщини, перевищують її, але є меншими за когезійну міцність герметика та асфальтобетону в зоні тріщини. І навпаки, за меншої когезійної міцності герметизуючого матеріалу та асфальтобетону в зоні тріщини і більшої за напруження розтягу адгезійної міцності відбуватиметься розтріскування герметика в об'ємі.

Величина напруження розтягу, що виникає на межі контакту між герметизуючим матеріалом та поверхнею асфальтобетонного покриття в тріщині, залежить від температури [7], геометричних розмірів герметика в тріщині [7–9], його в'язко-пружних властивостей [10] та міцності зчеплення між адгезивом та субстратом.

Очевидно, що герметизуючі матеріали з меншим значенням модуля пружності матимуть довший очікуваний строк експлуатації порівняно з високомодульними герметиками. Аргументація є досить простою: розкриття тріщини спричиняє значно менше напруження розтягу на межі контакту герметика і поверхні асфальтобетону, коли зусилля, що створене розтягом низькомодульного герметика у тріщині, є малим.

Автори робіт [11; 12] наголошують на негативному впливі гетерогенності та забрудненості поверхні асфальтобетону в тріщинах на міцність зчеплення з герметизуючим матеріалом. Це пояснюється [13] утворенням слабкого граничного шару між герметиком та асфальтобетоном, на якому відбувається руйнування і втрата загерметизованою тріщиною водонепроникності.

Дослідження бітумінозних герметиків тріщин в основному присвячені покращенню їх властивостей [4; 7]. І навпаки, поведінка герметиків на межі контакту при різних температурах не є достатньо дослідженою з точки зору асфальтобетонних покриттів.

Це вказує на недостатню вивченість факторів, які впливають на властивості герметизуючих матеріалів на межі контакту з поверхнею асфальтобетонних покриттів у зоні тріщини.

Мета роботи

Полягає в дослідженні впливу температури асфальтобетонного покриття в зоні тріщини під час її герметизації, на міцність зчеплення з нею бітумінозного герметизуючого матеріалу.

Результати досліджень

Міцність зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття в зоні тріщини визначали методом рівномірного відриву. За методом рівномірного відриву вимірюється величина зусилля, яке необхідне для відділення адгезиву від субстрату одночасно на всій площі контакту. Зусилля прикладається

перпендикулярно площині відриву, а величина міцності зчеплення визначається як відношення максимального зусилля відриву до одиниці площі контакту.

Для проведення досліджень використовували прилад ОНИКС-1.АП, який був модернізований для визначення величини зусилля відриву герметизуючого матеріалу від поверхні асфальтобетону як у лабораторних умовах, так і безпосередньо на дорозі.



Рис. 1. Загальний вигляд приладу ОНИКС-1.АП

Зразки для випробувань (рис. 2) готували шляхом приклеювання сталевих пластин-штампів прямокутної форми до поверхні герметизуючого матеріалу, нанесеного за температури 180°C на асфальтобетонний зразок-кern. Перед контактом сталевого штампу з гарячим герметизуючим матеріалом його поверхню зачищали шліфувальним папером та знежирювали ацетоном. Нанесення герметизуючого матеріалу виконували на поверхню зразків-кernів, які мали температуру 10°C, 20°C, 40°C, 60°C та 80°C. Після остигання зразків із приклеєними металевими штампами до кімнатної температури виконували видалення зайвої частини герметизуючого матеріалу (рис. 2а) таким чином, щоб площа адгезиву відповідала площі штампа (рис. 2б).



Рис. 2. Підготовка зразків до випробувань

Товщина герметизуючого матеріалу між сталевими штампами та поверхнею асфальтобетонного зразка була постійною і становила $1,5 \pm 0,5$ мм.

Перед випробуванням зразки з наклеєними сталевими штампами термостатували протягом 1 години (30 ± 5) хвилин за температур мінус 20°C, мінус 15°C, мінус 10°C, мінус 5°C, 0°C, 5°C, 10°C, 15°C та 20°C.

Під час випробувань із використанням приладу ОНИКС-1.АП фіксація значення максимального зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з основою відбувається в автоматичному режимі (рис. 3).

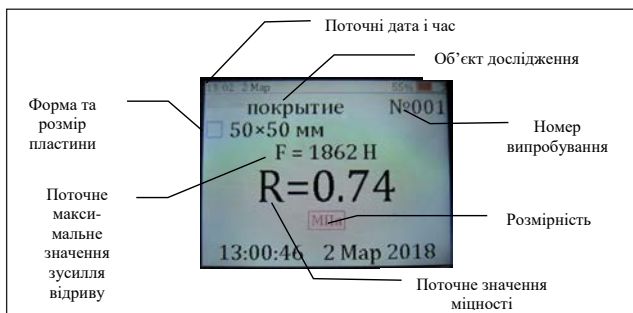


Рис. 3. Індикація міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного зразка у процесі випробування

Для приготування зразків використовували бітумно-полімерний герметик гарячого застосування, основні фізико-механічні властивості якого наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні властивості бітумно-полімерного герметика

Найменування показника	Значення
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	106
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °C, мм ¹	68
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °C, см	67
Еластичність, %	98
Температура крихкості, °C	> -40
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °C	>-35
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98(980)

Експериментальні результати визначення зусилля відриву і міцності зчеплення між герметизуючим матеріалом та поверхнею асфальтобетону наведені на рис. 4–6.

Отримані результати свідчать про те, що показники зусилля відриву та міцності зчеплення є достатньо чутливими до температури випробування та температури поверхні асфальтобетону, за якої здійснюють герметизацію тріщини. Аналіз експериментально отриманих температурних залежностей зусилля відриву (рис. 4) та міцності зчеплення (рис. 5) герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини вказує на те, що їм властива тенденція зменшення значень за умов зростання температури випробування. При цьому значення міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону зростає зі збільшенням температури прогріттям поверхні в зоні тріщини безпосередньо перед герметизацією. Аналіз наведених залежностей (рис. 6) показує, що більш інтенсивне зростання міцності зчеплення спостерігається за низьких температур випробування порівняно з високими.

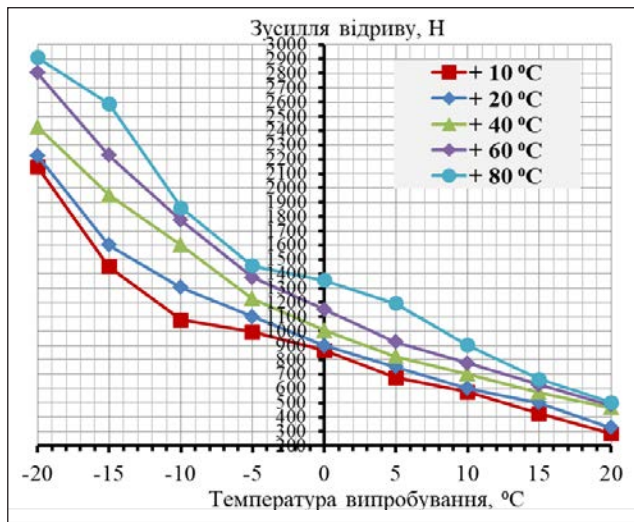


Рис. 4. Залежність зусилля відриву від температури випробування (в легенді наведені температури поверхні субстрату під час нанесення герметика)

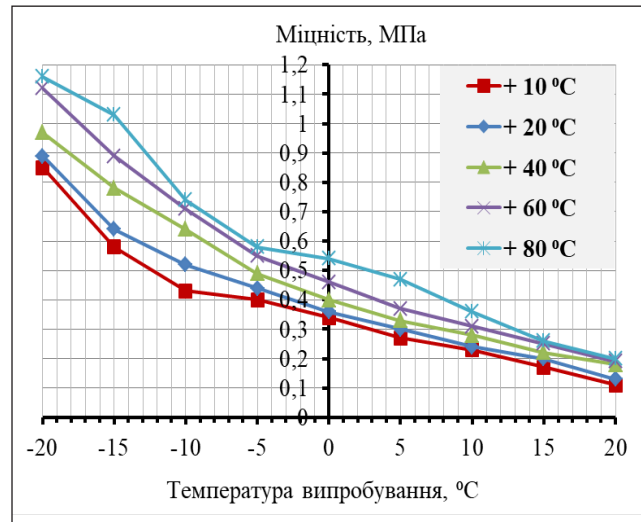


Рис. 5. Залежність міцності зчеплення від температури випробування (в легенді наведені температури поверхні субстрату під час нанесення герметика)

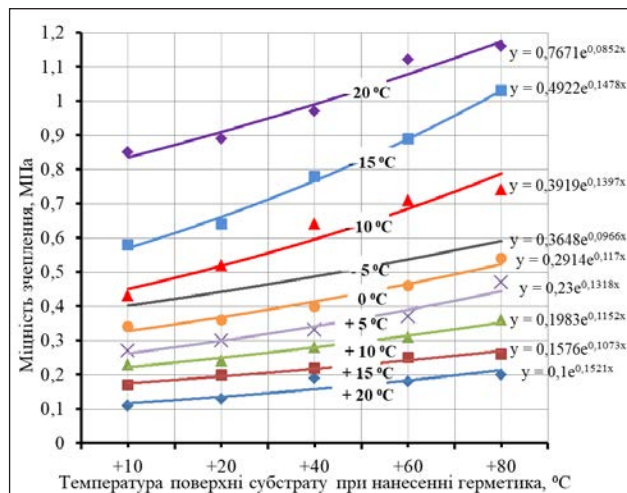


Рис. 6. Залежність міцності зчеплення від температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини

Висновки

За результатами експериментальних досліджень встановлено закономірне зростання показника міцності зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини під час зниження температури випробування. Визначено, що величина температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини, суттєво впливає на абсолютні значення зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону. При цьому встановлено, що характерною ознакою залежності міцності зчеплення від температури поверхні

асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини, є зростання абсолютної величини цього показника зі зниженням температури випробування.

Отримані результати дозволяють констатувати, що прогріття поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини безпосередньо перед її герметизацією сприяє утворенню більш міцних адгезійних зв'язків між нею та герметиком. Урахування встановлених закономірностей під час призначення технологічних температур виконання робіт із герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг забезпечить підвищення їх довготривалої роботи за низьких температур експлуатації.

Література

1. DSTU B V.2.7-136:2016 Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожнього одягу автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги. Мінрегіонбуд. 2016. 12 с.
2. M. Zolotov, K. Zhdanyuk, V. Zhdanyuk The influence of technological factors on bridge deck waterproofing when laying hot asphalt concrete protective and wearing courses. *Ist Polish Road Congress*. Warszawa. 2006. P. 491–498.
3. Горшенина Г.И., Михайлов Н.В. Полимер-битумные изоляционные материалы. Москва : Недра, 1967. 239 с.
4. Золотов М.С., Жданюк К.В. Вплив порошкових і волокнистих наповнювачів на властивості бітумних гідроізоляційних мастик. *Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2007. Вип. 15. С. 53–58.
5. Evers R.C. Evaluation of Crack Sealing Compounds for Asphaltic Pavements. *Project No. 33, Interim Report 3 (Ministry of Transportation and Communications of Ontario, Toronto, Canada)*. 1983.
6. Masson J-F, Collins P., and Lügariй, P-P. Performance of pavement crack sealants in cold urban conditions. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1999. № 26, in print.
7. Tons E. Geometry of simple joint seals under strain, in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials*. Publication № 1006 (Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA). 1962. P. 41–61.
8. Khuri M.F. and Tons E. Comparing rectangular and trapezoidal seals using the finite element method. *Transportation Research Record*. 1992. № 1334. P. 25–37.
9. Wang C.P. and Weisgerber F.E. Effects of seal geometry on adhesive stresses in pavement joint seals. *Transportation Research Record*. 1993. № 1392. P. 64–70.
10. Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers. *Third Edition (John Wiley & Sons, New York, USA)*. 1980.
11. Panek J.R. Causes of joint sealant failures, in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials*. Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA. 1962. P. 74–80.
12. Bikerman J.J. Theory of adhesion for joint sealants', in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials*. Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA. 1962. P. 35–39.
13. Masson J-F, and Lacasse M.A. A review of adhesion mechanisms at the crack sealant asphalt concrete interface, in *Durability of Building and Construction Sealants*. A. Wolf Ed., RILEM, Paris. 2000. P. 259–74.

References

1. DSTU B V.2.7-136:2016 Materials for sealing joints and cracks in motor road pavements. General Specifications. – Minregionbud. – 2016. – 12 p.
2. M. Zolotov, K. Zhdanyuk, V. Zhdanyuk The influence of technological factors on bridge deck waterproofing when laying hot asphalt concrete protective and wearing courses // *Ist Polish Road Congress*. – Warszawa. – 2006. – P. 491 – 498.
3. Gorshenina G.I., Michailov N.V. Polymer-bitumen insulating materials. – M.: Nedra, 1967. – 239 p.
4. Zolotov M.S., Zhdanyuk K.V. Influence of powder and fiber fillers on properties of bituminous waterproofing mastics // *Resource efficient materials, structures, buildings and objects: Proceedings*. – Rivne: NUVGP, 2007. – issue 15. – P. 53-58.
5. Evers R.C. Evaluation of Crack Sealing Compounds for Asphaltic Pavements // *Project No. 33, Interim Report 3 (Ministry of Transportation and Communications of Ontario, Toronto, Canada)*. – 1983.
6. Masson J-F, Collins P., and Lügariй, P-P. Performance of pavement crack sealants in cold urban conditions // *Canadian Journal of Civil Engineering*. – 1999. – № 26, in print.
7. Tons E. Geometry of simple joint seals under strain, in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials* // Publication No. 1006 (Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA). – 1962. – P. 41-61.
8. Khuri M.F. and Tons E. Comparing rectangular and trapezoidal seals using the finite element method // *Transportation Research Record*. – 1992. – № 1334. – P. 25-37.
9. Wang C.P. and Weisgerber F.E. Effects of seal geometry on adhesive stresses in pavement joint seals // *Transportation Research Record*. – 1993. – № 1392. – P. 64-70.
10. Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers // *Third Edition (John Wiley & Sons, New York, USA)*. – 1980.
11. Panek J.R. Causes of joint sealant failures, in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials* // (Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA). – 1962. – P. 74-80.
12. Bikerman J.J. Theory of adhesion for joint sealants', in *New Joint Sealants: Criteria, Design, and Materials* // (Building Research Institute, Washington, District of Columbia, USA). – 1962. – P. 35-39.
13. Masson J-F, and Lacasse M.A. A review of adhesion mechanisms at the crack sealant asphalt concrete interface, in *Durability of Building and Construction Sealants* // A. Wolf Ed., RILEM, Paris. – 2000. – P. 259-74.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ БИТУМИНОЗНОГО ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА С ПОВЕРХНОСТЬЮ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ЗОНЕ ТРЕЩИНЫ

Аннотация. Рассмотрено влияние факторов внешней среды на образование трещин в асфальтобетонных покрытиях конструкций дорожных одежд. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры на прочность сцепления битуминозного герметизирующего материала с асфальтобетонной поверхностью покрытия конструкции дорожной одежды в зоне трещины. Установлено, что нагрев поверхности асфальтобетонного покрытия в зоне трещины непосредственно перед ее герметизацией способствует формированию более прочных адгезионных связей между ней и герметизирующим материалом.

Ключевые слова: герметизирующий материал горячего применения, асфальтобетонное покрытие, трещина, равномерный отрыв, максимальное усилие отрыва, прочность сцепления, температура.

Жданюк В.К.

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

Воловик А.А.

к.т.н., доцент кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

Циркунова К.В.

к.т.н., главный специалист ГП «Укрдоринвест», г. Киев

Гнатенко Р.Г.

директор ООО «Вышень», г. Киев

Бижан О.П.

инженер кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

RESEARCH OF BITUMINOUS SEALING MATERIAL ADHESION TO SURFACE OF ASPHALT ROAD PAVEMENT IN ZONE OF CRACK

Summary. By the results of monitoring of condition of road pavements in climatic conditions of Ukraine it was found that stresses that are higher than tensile strength of asphalt concrete accumulate at joint long-term cyclic influence of mechanical vehicular loadings and seasonal daily changes of low temperatures in asphalt concrete layer of road pavement. Long-term influence of the mentioned external factors on asphalt concrete layers of road pavement causes cracking. It is determined that long-term usage of road structure with cracks in asphalt concrete pavement layer leads to its more significant deterioration and future increase of maintenance costs for repair works. Analysis of results of previous research on role of hot-applied bitumen-polymer sealing material components for provision of their deformability and heat resistance has been performed in the paper. It is being noted that main role for provision of elasticity, heat resistance and deformability of sealing material at low temperatures belongs to polymer.

It is being emphasized that existing research results of bituminous sealing materials are basically devoted to improvement of their properties. And conversely, behavior of sealing materials at interface with substrate at various temperatures is not sufficiently studied in terms of asphalt concrete pavements.

Experimental part of the paper covers research of influence of asphalt concrete pavement temperature in zone of crack, at its sealing, on adhesion strength of bituminous sealing material. Adhesion of sealing material to surface of asphalt concrete pavement in zone of crack was determined by means of uniform breaking away. Uniform breaking away method was used to determine maximum force at separation of adhesive from substrate simultaneously in the entire area of contact. Value of adhesion strength is determined as ratio of maximum breaking away force to contact area. Samples for determination of maximum breaking away force were prepared by bonding of steel rectangular plates to the surface of bituminous sealing material, applied at temperature of 180 °C on asphalt concrete core samples taken from asphalt concrete road pavement. Results of experimental research of influence of test temperature on adhesion of bituminous sealing material to asphalt concrete surface of road pavement in zone of crack are presented. It is found that heating of asphalt concrete surface in zone of crack, immediately prior to its sealing, results in provision of stronger adhesive bonds between the surface and sealing material.

Key words: hot-applied sealing material, asphalt pavement, crack, uniform breaking away, maximum breaking away force, adhesion strength, temperature.

Zhdanyuk V.K.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair of Motor Road Construction and Maintenance,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Volovyk O.O.

Candidate of Technical Sciences, Docent of Chair of Motor Road Construction and Maintenance,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Tsyrukunova K.V.

Candidate of Technical Sciences, Senior Specialist of State Enterprise "Ukrdorinvest", Kyiv

Gnatenko R.G.

Director of Limited Liability Company "Vyshen", Kyiv

Bizhan O.P.

Engineer of Chair of Motor Road Construction and Maintenance,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv