

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 625.852

Кузлю М.Т., д-р техн. наук, Бондар В.М.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ДО ДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА УХИЛАХ ДОРІГ І ВУЛИЦЬ

Анотація. У статті розглянуто стан питання щодо підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць. На основі Аналізу відомих підходів встановлено напрями подальших досліджень стосовно стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць.

Об'єкт дослідження – щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття.

Мета роботи – постановка напрямів досліджень стосовно стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць.

Методи дослідження – аналітичні.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, стійкість, напружено-деформованого стану, навантаження.

Annotation. The article deals with the state of the issue of increasing the resistance of stone-mastic asphalt pavement to the effect of vehicles on the slopes of roads and streets. Based on the analysis of known approaches, the directions of further research on the resistance of crushed stone and mastic asphalt concrete to the influence of vehicles on the slopes of roads and streets have been established.

The object of study - stone-mastic asphalt pavement.

Purpose - to set directions for research on the resistance of crushed stone and mastic asphalt pavement to the effect of vehicles on the slopes of roads and streets.

Research methods - analytical.

Keywords: stone-mastic asphalt, resistance, tensile-deformed condition, loading

Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття, як відомо, є одним із найбільш поширених на автомобільних дорогах в багатьох зарубіжних країнах. Також цей вид покриття в останні роки набув поширення у вітчизняній дорожньо-будівельній практиці. На даний час згідно з ДБН В.2.3-4 передбачається дорожнє покриття влаштовувати із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Із опублікованих джерел інформації відомо, що щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) був розроблений в 1966 році в Німеччині. Розробником ЩМА є центральна лабораторія компанії “Strabag-Bau AG”, автор розробки Цихнер. Починаючи з 1970 року, ЩМА став широко застосовуватися в дорожнім будівництві, одержавши назву «Splittmastixasphalt» (SMA) [1, 2]. Цей вид асфальтобетону з'явився як результат боротьби дорожніх служб Німеччини з інтенсивним руйнуванням дорожнього полотна й утворенням у ньому колій через ріст інтенсивності руху великовантажних транспортних засобів і застосування шипованих шин. За роки свого використання ЩМА продемонстрував прекрасні експлуатаційні якості та завоював надзвичайно високу популярність у Європі як зносостійкий матеріал дорожніх покриттів на високонавантажених трасах, в аеропортах і морських портах, а в останні роки щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші стали також широко поширюватися по усьому світі завдяки багатьом своїм перевагам [3-8].

Поверхня покриттів, одержувана при застосуванні ЩМА, характеризується комфортними й безпечними їздовими якостями, а її текстура відрізняється шорсткістю й здатністю поглинати шум при русі транспортних коштів. Тверда каркасна структура із щебенів, що формує кістяк асфальтобетону, обумовлює високу опірність зсувним деформаціям, а наявність великої кількості бітумного в'язучого, надає ЩМА деформативності і довговічності. Досвід країн, що мають тривалий досвід застосування ЩМА, свідчить, що для одержання гарної якості покриття необхідно, щоб суміш була

збалансована по складу, а укладання й ущільнення повинно виконуватися відповідно до технологічного регламенту на високому технічному рівні

Ідея щебенево-мастикового асфальтобетону полягає у тому, щоб шляхом підбору мінеральної частини створити щебневий кістяк підвищеної стійкості до дії транспортних навантажень, а шляхом заповнення його бітумною мастикою отримати залишкову пористість бажаної величини. Завдяки високій клеючій здатності розчину з асфальтов'язучого у створеній структурі затрудняється зміщення зерен мінеральної складової всередині "каркасу" і підвищується зсувостійкість матеріалу до дії зсувних зусиль.

Під зсувостійкістю мається на увазі здатність асфальтобетону опиратися необоротному пластичному деформуванню при багаторазовому колісному навантаженні. Результати випробувань багатьох дослідників показали більш високу стійкість ЩМА до колієутворення в порівнянні із іншими асфальтобетонами що обумовлено виникненням порівняно меншим деформаціям, як у поперечному, так і в поздовжньому напрямку за рахунок наявності твердого щебеневого кістяку, що забезпечує передачу навантаження з поверхні покриття в нищележачий шар через контактуючі один з одним крупні зерна кам'яного матеріалу.

Проведені наукові дослідження ЩМА показали, що для забезпечення його стійкості потрібно слідкувати за складом ЩМА, ступенем його ущільнення, термо-в'язко-пружньо-пластичними параметрами [3, 9].

У багатьох дослідженнях відмічається, що реологічні характеристики, від яких залежить як рівень напружено-деформованого стану покриття, так і стійкість до пластичних деформацій та стійкість до порушення суцільності ефективно можна регулювати за рахунок використання полімерних і мінеральних структуруючих добавок у суміші та/або в'язуче.

Вищенаведена інформація свідчить про суттєві переваги щебенево-мастикового асфальтобетону, як матеріалу покриття конструкції дорожнього одягу. Водночас, ці переваги можуть бути реалізовані якщо всі інші елементи дорожньої конструкції повноцінно виконують свої функції протягом усього терміну служби під дією транспортних та кліматичних факторів.

Значна кількість досліджень була присвячена оцінюванню рівня напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття в конструкції дорожнього одягу, як багатошарового на півпростору. Вертикальні зусилля від

сучасного вантажного транспорту, що рухається, викликають, головним чином, напруження стиску в асфальтобетонних покриттях, що створюють тиск від пневматиків на поверхню покриття в межах 0,8-1,2 МПа. Стискаючі напруження такої величини при одноразовому короткочасному навантаженні не утворюють небезпеки для покриття, оскільки міцність асфальтобетону, враховуючи реакцію сусідніх з місцем контакту шарів матеріалу, навіть при високій температурі, перевищує ці величини. Відмічається, що значно небезпечніша багаторазова повторна дія вертикальних нормальних напружень, а також розтягуючих горизонтальних та зсувних напружень [10-14].

Виконані матеріалознавські дослідження стверджують, що діючі на покриття автомобільної дороги транспортні навантаження викликають нормальні та дотичні напруження у поєднанні з високими літніми температурами призводять до великої кількості дефектів покриття пластичного характеру [15-18]. Це обумовлено як недостатньою деформативною стійкістю асфальтобетону при підвищених температурах, а також недостатнім зчепленням між асфальтобетонними шарами. У багатьох роботах відмічається, що зміна температури асфальтобетонного покриття в межах від +10 °С до +50 °С викликає в шарах покриття збільшення вертикальних і горизонтальних переміщень від транспортного навантаження в 1,5-2 рази [19] а відсутність зчеплення хоча б в одному з конструктивних шарів дорожнього одягу, викликає збільшення горизонтальних переміщень від 3,7 (у верхніх шарах покриття) до 7,7 рази (в нижньому шарі покриття).

Як критерії для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення пластичних деформацій при дії транспортних навантажень є експериментальні показники зсувостійкості асфальтобетону [17, 18, 20-22].

Узагальнюючи існуючі дослідження можна відмітити, що одним із факторів забезпечення надійності та працездатності дорожньої конструкції є спільна робота її шарів, за рахунок наявності міцних зв'язків між монолітними шарами, можлива при забезпеченні міжшарового зчеплення. Дана умова, у тому числі, забезпечує міцність і надійну роботу асфальтобетонних шарів під час експлуатації дорожнього одягу. Саме створення міцного контакту між цими шарами за рахунок достатнього зчеплення є обов'язковою важливою умовою, що передбачається розрахунковими схемами роботи конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами при їх проектуванні згідно нормативних

документів, що діяли в останні роки [23, 24]. Однак, як показує практика, не завжди вдається забезпечити необхідне зчеплення між асфальтобетонними шарами. Дослідження багатьох вчених [25] свідчать, що найбільш поширеними причинами є: невідповідність технологічних режимів укладання шарів дорожнього одягу, перш за все температурних; не врахування фізико-механічних властивостей матеріалів на етапі будівництва; впливу кліматичних і механічних чинників, або найчастіше їх комплексного впливу на етапі експлуатації автомобільної дороги та інше. Так, в дослідженнях Стороженка М.С., Аринушкиної Н.С. та Грищенка Т.М. “ХНАДУ”, [26] звертається увага на те, що під дією вертикального навантаження від колеса автомобіля в шарах дорожнього одягу виникають зсувні напруження. Якщо ці напруження перевищують опір зсуву матеріалу, то внаслідок порушення граничної рівноваги виникають та поступово накопичуються від багаторазового навантаження залишкові деформації. В результаті дорожній одяг починає руйнуватися. Отже, будь-який міцний дорожній одяг протягом року не повинен мати залишкових деформацій, тобто повинен працювати в стадії оборотних (пружних) деформацій.

Крім зсувних зусиль, що виникають в шарах дорожніх одягів від вертикального колісного навантаження, горизонтальні зусилля виникають від дії крутного моменту при русі автомобіля, збільшуючись при зміні швидкості руху, зрушенні автомобіля з місця і досягають максимуму при гальмуванні. Співвідношення вертикальної і горизонтальної складових навантаження залежать від режимів руху, профілю поверхні проїзної частини, зчеплення колеса з покриттям, конструктивних особливостей автомобіля і досягає в більшості випадків 75% від вертикальних навантажень. Сумарні максимальні напруження виникають на глибині 4-10 см від поверхні, тобто на нижній границі шару посилення. Значення міжшарового зчеплення підтверджується експериментально при випробуванні моделей на розтяг при згині.

Відомо, що в останні роки збільшується інтенсивність руху та вагові параметри транспортних засобів (вантажопідємність, осьове навантаження, кількість осей транспортного засобу, питомий тиск автомобільних шин на покриття). В результаті цих обставин почали більш інтенсивно з'являтися деформації асфальтобетонного покриття, у тому числі і на покритті із ЩМА, особливо на ухилах при дії горизонтальних зусиль від транспортних засобів.

Внаслідок чого скорочується строк служби асфальтобетонного покриття та суттєво погіршуються показники безпеки руху.

При вирішенні питання підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних навантажень на ухилах доріг і вулиць слід розглядати не тільки вплив дії транспортного навантаження при гальмуванні на спуску або при русенні з місця на підйомі, а також довготривалу дію власної ваги, особливо за високих температур покриття у літній період року. У багатьох дослідженнях спрощені підходи врахування власної ваги на стійкість асфальтобетонного покриття на ухилах розглядають наступним чином.

Власна вага дорожнього одягу в будь-якій його точці по товщині з урахуванням куту нахилу розподіляється на дві складові. Однією з них є дотична складова T , що діє паралельно площині покриття і намагається зсунути дорожній одяг вниз викликаючи небезпеку зсуву. Друга з них є нормальна складова P , що діє перпендикулярно до площини покриття і притискає дорожній одяг до нього, створюючи опір зсуву і допомагає утримувати дорожній одяг від сповзання разом із силами зчеплення. Таким чином, умова стійкості від сповзання дорожнього одягу виходить із умови міцності на зсув по одній із вірогідних небезпечних площин

$$T \leq [T], \quad (1)$$

де T – дотична складова власної ваги G дорожнього одягу;

$[T]$ – опір зсуву дорожнього одягу.

В роботі [27] запропоновано математичну модель та рівняння процесу хвилеутворення дорожнього одягу, наведено приклад розрахунку несучої спроможності верхнього шару асфальтобетонного покриття проти хвилеутворення на ділянках інтенсивного гальмування автомобільних потоків. Авторами встановлено, що суттєво впливає на пластичне розповзання шару гальмівна сила F_T , яка досягає значень співмірних з нормальним навантаженням за гальмівного режиму руху колеса. Величина гальмівної сили під час гальмування автомобіля для окремого колеса визначається за формулою $F_T = \varphi P_Z$, де φ – коефіцієнт зчеплення колеса з опорною поверхнею, P_Z – значення зусилля яке приводить у пластичний стан шар асфальтобетону під колесами автомобіля. Механічна модель процесу взаємодії загальмованого колеса з дорожньою поверхнею розглядається як зсув і стиск ідеально-пластичного тонкого шару між паралельними жорсткими плитами відповідно до [28]. Дослідниками [27]

наведені підрахунки показали, що в умовах слабкого силового навантаження забезпечується несуча спроможність шару асфальтобетону в температурному діапазоні $t=(20^{\circ}\text{C}; 50^{\circ}\text{C})$. Проте під час гальмівного режиму руху колеса за $t=50^{\circ}\text{C}$ відбувається втрата стійкості дорожнього одягу проти пластичного течення. На ділянці дороги інтенсивного гальмування автомобілів, що дорівнює, приблизно, довжині гальмівного шляху $S_{\text{ГМ}}$, після проїзду k -го автомобіля відбувається незворотне видовження шару асфальтобетону на величину Δl_k^p . Тому прилегла ділянка дорожнього одягу до гальмівної ділянки перебуває в стисненому стані під дією стискаючої сили $F_{\text{ст}}$. За деякого граничного значення цієї сили відбувається втрата стійкості цього шару і він випучується. Подальше охолодження дорожньої поверхні не приводить до зникнення випучених областей, а проїзд по них важких автомобілів викликає поступове руйнування дорожнього одягу.

Крім того дослідження виконані в роботі [29] показують, що при оцінці міцності асфальтобетонного шару на зсувостійкість слід враховувати зміни компонентів напруження, а саме дотичні напруження в тілі контакту шарів $\sum \tau_{xz}$, $\sum \tau_{yz}$, та горизонтальні напруження в тілі асфальтобетонного шару $\sum \sigma_x$, $\sum \sigma_y$ (при комплексній дії зовнішнього навантаження та температурного деформування), від яких будуть залежати значення головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 .

Висновки. Аналіз відомих досліджень свідчить про високу ефективність використання покриття із ЦМА у випадку, якщо всі елементи дорожньої конструкції виконують свої функції і забезпечують стабільну основу для реалізації його переваг. Вивченню поведінки такого покриття на ухилах автомобільних доріг та вулиць приділено недостатньо уваги, що потребує подальших досліджень з урахуванням:

- довготривалої дії власної ваги;
- фактичного характеру зв'язку між шарами дорожньої конструкції;
- змінних властивостей ґрунтової основи за довжиною ухилу та сезонної зміни вологості;
- характеру дії параметрів транспортного навантаження під час гальмування та рушення з місця транспортних засобів.

Перелік посилань

1. Splittmastixasphalt,-Dr.-Ing. K.H. Kolb die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere. / LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV), 27 s.
2. Asphalt | Taschenkalender: BGA. Bonn, 2003.
3. Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов. Покриття из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство "Элит"». - 2009. 176 с. илл.
4. Krzystov Blazejowski. SMA. Teoria I praktyka. 2007.
5. Юрген Хученройтер, Томас Вернер. Щебеночно-мастичный асфальтобетон: основные понятия, структура, состав, свойства, опыт применения. Автомобильные дороги, №4, 2002, С. 40-42.
6. Веренько, В. А. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной надежности и долговечности : пособие по выполнению курсового проекта № 3 «Проект дорожной одежды нежесткого типа (деталь проекта)» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги». - Минск : БНТУ, 2012. - 78 с.
7. В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Арінушкіна Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах // Автошляховик України. 2012. №6(230). С.23-27
8. В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Воловик Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах // Автошляховик України. 2012. №2(226). С.25-29
9. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - John Emery, Carl Woodman, Robert Burlie. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada 1997.
10. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок: дис. ... докт. техн. наук. Киев, 1983. 552 с.
11. Онищенко А.М. Підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх : дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2018. 606 с.
12. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Н.И.Иванова. М. Транспорт 1973, 328 с.

13. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. – К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
14. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1964. – 167 с.
15. Бонченко Г.А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером. М.: Машиностроение, 1994. 175 с.
16. Антипов В.И., Богуславский А.М. Методика расчета асфальтобетонных покрытий на сдвиг. М.: Аэропорт, 1979. 11 с.
17. Золотарев В.А. Исследование свойств асфальтобетонов различной структуры: автореф. дис...канд. техн. наук. Харьков, 1967. 24с.
18. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа, 1977. 116 с.
19. Матуа В.П., Баранов Е.М., Джанашия Д.Р. Методы прогнозирования, развития и учета накопления остаточных деформаций при конструировании дорожных одежд // Дороги і мости. 2006. Вип. 4. С.181-199.
20. Чугуенко С.А. Сдвигоустойчивость асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами: дис. ... канд.тех. наук. Харьков, 2006. 185 с.
21. Гезенцевей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Асфальтовый бетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
22. Экспериментальные исследования асфальтобетонов верхних слоев покрытия (ЩМА, плотных асфальтобетонов на ПБВ и др.) для определения расчетных характеристик, используемых при проектировании нежестких дорожных одежд (дополнительно к ОДН 218.046-01) / Открытое акционерное общество «Дорожный научно-исследовательский институт «СоюздорНИИ» (ОАО «СоюздорНИИ»). – Государственный контракт № УД-47/310. Балашиха, 2009. 112 с.
23. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа, М., «Транспорт», 1985, 159 с.
24. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
25. МИНАКОВ А.С., КИЯШКО И.В. ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕЖСЛОЙНОГО СЦЕПЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА. Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожно-

будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 112-115.

26. Стороженко М.С. Аринушкина Н.С. Грищенко Т.М. Підвищення міцності і зсувостійкості асфальтобетонних шарів посилення на нежорстких дорожніх одягах. Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 155-159

27. Бігун Г. Г. Оцінка стійкості дорожнього одягу проти хвилеутворення / Г. Г. Бігун, Л. О. Карасьова, Я. Ф. Андрусик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2013. – № 755 : Теорія і практика будівництва. – С. 10–14. – Бібліографія: 5 назв.

28. Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.

29. Дорожко, Євген Вікторович. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі : дис. ... канд. техн. наук / Євген Вікторович Дорожко ; ХНАДУ. - Х. : ХНАДУ, 2016. - 280 с.