

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАРАН СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ
ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ІЗ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ С. А. Баран

Науковий керівник –
Мозговий Володимир Васильович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ В. І. Каськів

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Баран С.А. Удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2020.

Актуальність роботи. На даний час в Україні як і в усьому світі найпоширенішим покриттям доріг та вулиць є асфальтобетонне, завдяки своїм перевагам, що проявляються під час будівництва, експлуатації й ремонту. Безпечний і комфортний рух транспорту можливо забезпечити тоді, коли дорожнє покриття не потребує частих ремонтних втручань і протистоїть передчасному накопиченню залишкових деформацій, зберігає суцільність при циклічному згині від проїзду транспортних засобів та при багаторазовій дії розтягуючих напружень в результаті коливань температури, а також зберігає суцільність при впливі водоморозних циклів. Саме над створенням такого асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності останні десятиліття працювали вчені багатьох країн отримавши ряд передових розробок. До таких розробок відноситься щебенево-мастиковий асфальтобетон (далі ЩМА) – один із сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону, що найкраще відповідає вимогам до матеріалів покриття автомобільних доріг і вулиць з важким та інтенсивним рухом. Цей матеріал вже набув широкого розповсюдження у більшості країн світу і близько двох десятків років застосовується в Україні. Однак щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нерідко передчасно руйнується, що погіршує безпеку руху і призводить до значних витрат на ремонт. Це пояснюється відносно невеликим досвідом його застосування у вітчизняній практиці, що потребує (з більш детальним урахуванням кліматичних умов України) удосконалення методики розрахунку конструкцій дорожнього одягу, проектування складу щебенево-мастикової

асфальтобетонної суміші і контролю якості її виготовлення та застосування. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від багатьох факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, температура, та ін.).

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону, з урахуванням комплексної дії впливових факторів.

У першому розділі розглянуто стан питання проектування нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА і поставлено мету та задачі досліджень.

Відмічено, що дослідженню довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу присвячено значний перелік робіт багатьох відомих вчених які встановили основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформівного тіла, розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового напівпростору, інженерні методики розрахунків, а також критерії граничного стану. Також слід відмітити, що в останні роки у багатьох дослідженнях значна увага приділена застосуванню методу скінченних елементів з використанням сучасних програмних комплексів. У сучасних дослідженнях приділяють велику увагу врахуванню термо-реологічних властивостей асфальтобетону, що дозволяє точніше прогнозувати довговічність покриття.

Як свідчить аналіз літературних даних, зусилля багаторічних досліджень, направлених на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок удосконалення складу асфальтобетону та технології виготовлення і застосування асфальтобетонних сумішей, завершилися успішними практичними результатами появи ряду сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону. До одного з них саме і відноситься ЩМА. В літературному огляді показано історію появи ЩМА, яка свідчить про те, що отримані

результати ґрунтуються, головним чином, на емпіричних підходах. Проаналізовано опис різними дослідниками умов роботи ЩМА в дорожньому покритті, розглянуто особливості технології виготовлення ЩМА, проектування складу ЩМА та технологію влаштування покриття із ЩМА, наведено методи оцінки граничного стану покриття із ЩМА. Відмічено, що застосування ЩМА у вітчизняній практиці досить часто характеризується не достатньою довговічністю покриття порівнюючи із зарубіжним досвідом. На основі літературних даних також слідує, що існуючий вітчизняний нормативний метод проектування дорожніх одягів не достатньо повно враховує спільну дію транспортних засобів та коливання температури, а також дію інших впливових факторів на довговічність покриття.

Були вивчені літературні джерела щодо коливань кузова сучасних транспортних засобів, коли вони рухаються по автомобільним дорогам загального користування, а саме амплітудно-частотних характеристик під час транспортування ЩМАС. Аналіз літературних даних свідчить, що частота коливання кузова вантажного автомобіля в залежності від характеру нерівностей може змінюватися від 2 Гц до 25 Гц, а прискорення може становити від 0,2 до 4,0 і більше значень прискорення вільного тяжіння.

Виконаний літературний огляд свідчить, що у відомих дослідженнях не достатньо відображено особливості вітчизняних умов застосування ЩМА, а також неповно враховується комплексний вплив факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, коливання температури та ін.) на довговічність дорожнього покриття із ЩМА.

В другому розділі наведені теоретичні аспекти дослідження довговічності нежорсткого покриття із ЩМА.

У дослідженнях прийнята робоча гіпотеза, що полягає у наступному.

Довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого (окислення, полімеризація, поліконденсація,

випаровування та інфільтрація легких фракцій в'язучого в мікропори і мікротріщини мінерального матеріалу), водо-морозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. При цьому допускається, що стійкість до розшарування асфальтобетонної суміші буде забезпечена при дотриманні вимог до рецептурно-технологічних параметрів чинних нормативних документів та додаткових вимог, розроблених на основі цих дисертаційних досліджень. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

З урахуванням термо-реологічних властивостей ЩМА, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів, було розроблено критерій граничного стану покриття із ЩМА.

Наведено аналітичні розрахунки для визначення розтягуючих горизонтальних нормальних напружень при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючих горизонтальних нормальних напружень при згині у верхній частині покриття σ_n з урахуванням схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження.

Наведено аналітичні залежності для визначення складових критерію граничного стану покриття із ЩМА, а саме: міри вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту – M_{Tp} , міри вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки – M_{yT} , міри вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого – M_{yC} та міри вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водоморозних впливів – M_{BMP3} .

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону. Ці дослідження полягали у проведенні лабораторних, стендових та натурних випробувань і числового аналізу.

Були проведені лабораторні дослідження впливу рецептурно-технологічних параметрів на найбільш небезпечне явище, що суттєво впливає на довговічність покриття – це утворення неоднорідності асфальтобетонної суміші під час технології її приготування, та при проявленні процесу зернової сегрегації ЩМАС у результаті розшарування суміші при зберіганні у накопичувальному бункері та при транспортуванні у автосамоскидах. Таке розшарування призводить до утворення на покритті місць з надлишком в'язучого (виникає небезпека утворення пластичних деформацій) та місць з недостатньою його кількістю (виникає небезпека передчасного порушення суцільності).

Отримані результати лабораторних досліджень підтвердили відомі закономірності впливу на стандартний показник розшарування ЩМАС (за методом Шеленберга) вмісту стабілізуючих добавок та кількості полімерних модифікаторів, а також виявлені нові закономірності впливу виду і кількості енергозберігаючих добавок на цю характеристику. Також за допомогою лабораторних випробувань було проведено дослідження впливу на розшарування суміші часу витримувannya її у накопичувальному бункері та часу транспортування.

Для оцінювання стійкості ЩМАС до впливу динамічних коливань запропоновано застосовувати коефіцієнт тиксотропії суміші, що є відношенням показника стікання в'язучого, отриманого після коливань проби ЩМАС ($B_{дин}$), до показника стікання, отриманого при статичному витримувannya ($B_{ст}$).

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують і пояснюють результати натурних спостережень за влаштуванням і поведінкою покриття із ЩМА на ряді вітчизняних об'єктів.

У лабораторних дослідженнях визначали стандартні фізико-механічні та термореологічні і термомеханічні властивості ЩМА. Також було досліджено параметри технології ущільнення ЩМАС та її вплив на дроблення мінеральних зерен.

Здійснено експериментальне визначення показників термореологічних і термомеханічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону:

функцію повзучості, функцію релаксації, функцію температурно-часової аналогії, функцію довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування, розрахункові значення модуля пружності, міцності на розтяг при вигині, показник втоми, коефіцієнт температурної тріщиностійкості, інтегральний показник стійкості до колієутворення, міцність зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві. Ці експерименти виконувались за допомогою методів і приладів, розроблених в НТУ, в науково-дослідній лабораторії «Технології матеріалів і конструкцій транспортного будівництва» ім. проф. Г.К. Сюньї, у тому числі і за участю дисертанта.

Дослідження поведінки покриття із ЩМА в різних конструкціях дорожнього одягу під дією рухомого транспортного навантаження проводили на кільцевому стенді. Аналізували вплив рецептури ЩМАС та особливостей конструкції дорожнього одягу на поведінку покриття залежно від кількості проїздів автомобілів.

Оцінювали зчеплення асфальтобетонного покриття із ЩМА і нижче розташованих асфальтобетонних шарів за допомогою методики СОУ 45.2-00018112-046.

За допомогою числового аналізу було досліджено особливості напружено-деформованого стану та граничного стану покриття із ЩМА при дії транспортного навантаження за різних температурних умов. Для цього використовували відомі аналітичні рішення, номограми, скінченноелементні програмні комплекси, літературні дані. Був встановлений комплекс факторів, що негативно впливає на довговічність покриття.

Були проведені натурні дослідження шляхом обстеження вулиць і доріг населених пунктів та доріг загального користування. При цьому оцінювали стан дорожнього одягу і встановлювали види, розповсюдженість і розміри дефектів асфальтобетонного покриття. З характерних ділянок відбирали вирубку та керни, виготовляли зразки, досліджували властивості ЩМА. Аналіз результатів обстеження стану покриття із ЩМА, що експлуатується при різних режимах навантаження, дав можливість виявити фактори, що призводять до

порушення суцільності покриття і підтвердити теоретичні передумови підвищення його довговічності.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений практичному впровадженню результатів досліджень.

На основі дисертаційних досліджень розроблено методику експериментального оцінювання впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЩМА. Вона полягає у перевірці коефіцієнта однорідності ЩМАС за показником стікання в'язучого на початку випуску нової партії суміші, а також коефіцієнта тиксотропії залежно від умов транспортування.

Удосконалено заходи з підвищення довговічності покриття із ЩМА: матеріалознавчі, що передбачають регулювання складу і властивостей асфальтобетону з метою підвищення міцності і витривалості, технологічні – спрямовані на вплив параметрів технології випуску транспортування та укладання ЩМАС, які зменшують ризик факторів, що призводять до передчасного порушення суцільності покриття, а також спрямовані на застосування додаткових заходів з контролювання дотримувannya технологічно-рецептурних параметрів; конструктивні – передбачають застосування принципів конструювання дорожнього одягу, направлених на підвищення довговічності покриття із ЩМА.

Розроблено методику випробувань ЩМАС, що дозволяє імітувати вплив транспортування. Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги до показника розшарування в'язучого ЩМАС залежно від часу витримувannya у накопичувачі і часу транспортування.

Також запропоновано визначати однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші на основі аналізу коефіцієнта варіації показника стікання в'язучого щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші при відпрацюванні технології виготовлення.

Удосконалено методику експериментального визначення показника зчеплення покриття з основою, яка полягає у використанні заданого комплексного впливу горизонтальних та вертикальних навантажень на керн,

відібраний із дорожнього об'єкта з верхнім шаром із ЩМА. Після цього зразок піддається водоморозним впливам і випробовується на розтяг. Це дозволяє краще імітувати дію транспортних та кліматичних факторів та оцінити їх вплив на роз'єднання покриття із ЩМА із нижніми шарами.

Результати досліджень знайшли своє впровадження під час науково-технічного супроводу та спостереження на таких об'єктах як: проспект Бажана, проспект Перемоги, проспект Воз'єднання, бульвар Перова, проспект Гагаріна у м. Києві та на автомобільних дорогах державного значення М-06 Київ-Чоп, М-03 Київ-Харків-Довжанський, М-02 Кіпті-Глухів-Бачівськ, Т-05-14 Добропілля-Лиман у Донецькій обл.

Крім того, результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробленні нормативних документів для дорожньо-будівельної галузі України.

Ключові слова: асфальтобетон щебенево-мастиковий, довговічність дорожнього покриття, критерій граничного стану покриття, методика проектування, рецептурно-технологічні параметри, термореологічні характеристики.

Список опублікованих праць за темою дисертації

- Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Куцман А.М., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты. Минск. 2008. №2. С. 16-20.

2. Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Куцман А.М. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд // Дороги и мосты. Москва. 2015. Вып. 34/2. С.102-112.

3. Баран С.А., Мозговой В.В., Куцман А.М, Боровик И.И. и др. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. Бишкек. 2016. Вып 1(51). С. 107-113.

4. Baran S., Mozgovyi V., Kutsman A. Improvement is strength calculation for pavement structure of rail station areas // Transbud – 2017, Structure, Materials and Infrastructure. 2017. volume 116.

- Статті у фахових виданнях:

5. Баран С.А. Особливості розрахунку дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2008. Вип. 75. С. 167-172.

6. Баран С.А., Ольховой Б.Ю, Куцман А.М., Прудкий А.В, Мозговой В.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. Макіївка. 2010. Вип. 2010-1(81). С. 174-180.

7. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю.. Розширення будівельного сезону за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів при низьких температурах // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2012. № 3. С. 30-32.

8. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю., Ольховий Б.Ю. Забезпечення якості випробувань асфальтобетонної суміші при визначенні її зернового складу та вмісту бітуму // Управління проектами, системний аналіз і логістика: наук. журнал. Київ. 2013. № 11. С. 69-76.

9. Баран С.А., Мозговий В.В, Онищенко А.М. Міцність дорожнього одягу – основа якості автомобільних доріг // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2013. №4 (234). С. 32-35.

10. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю., Нимчук К. И. Выбор энергосберегающих добавок для расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода с щебеночно-мастичных

асфальтобетонных смесей на мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 90. С.49-56.

11. Баран С.А., Куцман А.Н., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В. и др. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2015. Вип. 55. С. 20-26.

12. Баран С.А., Мозговой В.В., Боровик І.І. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 57. С.77-83.

13. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.

14. Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговой В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Одеса. 2016. Вип. 63. С.167-173.

15. Баран С.А., Мозговой В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2017. Вип. 100. С.68-76.

16. Баран С.А., Куцман О.М., Мозговой В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Бондар В.М. Аналіз термомеханічних процесів в асфальтобетонних шарах автомобільних доріг // Вісник ОДАБА. Одеса: зб. наук. праць. 2017. Вип. 67. С. 96-102.

17. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ващіліна О.В., Лебедева І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.

18. Баран С.А., Густєлев О.О., Гуляєв В.І., Мозговой В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу

з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. Київ. 2019. Вип. 1 (43). С. 26-38.

- Оpubліковані праці апробаційного характеру:

19. Баран С.А., Мозговий В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Куцман О.М., Жуков В.Є. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2009. Вип. 33. С. 137-142.

20. Баран С.А. Підвищення гідроізоляційної здатності та якості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 131-138

21. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Куцман А.М. Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах // Сборник статей и докладов ежегодной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Москва. 2011. С.202-211.

22. Баран С.А., Ольховий Б.Ю. Стойкость теплых асфальтобетонов к накоплению пластичных деформаций // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ. 2013. Т.1. С.283 – 288.

23. Баран С.А., Мозговий В.В., Куцман О.М., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С. 294-302.

24. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Куцман О.М., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С.283-293.

- Свідоцтва та патенти:

25. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), B01F 7/00. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Онищенко А.М., Козлов П.В., Прудкий О.В., Лозовська І.Ю., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Жуков О.О., Резник Ю.Л. Дата реєстрації 10.02.2010.

26. Патент України на корисну модель № 123373 Україна, МПК (2018.01), E01C 11/12. Пристрій для підготовки проб бітумів, модифікованих полімерами, до випробування на розшарування при зберіганні / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

27. Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення „Комп'ютерна програма розрахунку довговічності щебенево-мастикового асфальтобетону”, 09.08.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

28. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір „Методика конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону”, 21.12.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

29. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 62287 Україна. Літературний письмовий твір практичного характеру «Стандарт організації України. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення. СОУ 42.1-37641918-009:2013 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.10.2015 р.

30. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 67973 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах ГБН В.2.3.-547;2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.09.2016 р.

31. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 68416 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому. СОУ 45.2-00018112-058:2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 01.11.2016р.

32. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 73075 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Визначення розрахункових модулів пружності. СОУ 45.2-00018112-059 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Чиженко Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

33. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 83830 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Оцінка впливу комплексних модифікаторів на основі вторинного поліетилену низького тиску на властивості бітумних в'язучих» // Мозговий В.В., Баран С.А., Лаптева Н.С., Маркович А.П. Дата реєстрації 20.12.2018 р.

- Оpubліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

34. Баран С.А., Мозговий В.В., Герасимов В.В., Жуков В.Є., Онищенко А.М., Куцман О.М. Покращення якості асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання модифікатора дорожнього бітуму К-1 // Дороги і мости: зб. наук праць. Київ. 2008. Вип. 9. С. 172-174.

35. Баран С.А., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Лютенко В.А. Підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 84-87.

36. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Покращення гідроізоляційної здатності асфальтобетонного покриття мостів за рахунок

застосування теплих асфальтобетонних сумішей // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. зб. Київ. 2013. Вип. 50. С. 97-102.

37. Баран С.А., Бондар В.М. Оцінка впливу тиксотропії на якість щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 117-122.

38. Баран С.А., Куцман О.М.. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 143-146.

SUMMARY

Baran S.A. Improving the Design of High-durability Pavement Made of Stone Mastic Asphalt – Manuscript..

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences. Specialty 05.22.11 – Highways and Airfields. (192 – Construction and Civil Engineering). – National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

Relevance of the work. Nowadays the asphalt concrete pavement is the most common in Ukraine, as in the rest of the world, due to its advantages, which are reflected on the construction, operation and repair stages. Safe and comfortable traffic can be ensured if the road surface does not require frequent repairs and resists the premature accumulation of residual depressions; preserves continuity in cyclic bending caused by the traffic and repeated tensile stresses due to temperature fluctuations, and maintains continuity under the water-frost cycle actions. Scientists around the world have been working on the design of such an asphalt concrete wearing of increased durability for the last decades, having received a number of advanced developments. Such developments include road stone mastic asphalt (hereinafter SMA) - one of the modern progressive types of asphalt concrete, which best meets the requirements for highway and street wearing with heavy and intense traffic. This material has already become worldwide renowned and has been utilized in Ukraine for over 20 years. However, stone mastic asphalt pavement is often being prematurely ruined, which impairs traffic safety and leads to significant repair costs. It happens due to relatively little experience of its application in national practice, which requires (taking in consideration individual climatic conditions of Ukraine) improvement of methods for calculating pavement structures, designing the composition of stone mastic asphalt mixture and quality control of its manufacture and use. Fractures are developed to a different extent depending on many factors (prescription-technological parameters, wheel load, time in service, temperature, etc.).

Thus, the relevance of the work is due to the need to solve an important scientific and technical problem – to improve the design of pavement of high durability of stone mastic asphalt with taking into account the complex action of influential factors.

The status of the non-rigid pavement with the SMA wearing has been shown in **the first chapter of the thesis**, as well as the purpose and objectives of the research.

It is noted that the study of durability of non-rigid asphalt concrete wearing is devoted to a large list of works of many prominent scientists who identified the main factors. The patterns of asphalt concrete composition influence and the components properties have been revealed, as well as the design parameters of pavement that affect its durability. In these studies, based on the main provisions of the mechanics of a rigid deformable body, mathematical models of the stress-strain state of pavements as a multilayer in half space, engineering methods of calculating, as well as the criteria of the limit state, have been developed. It should also be noted that in recent years, many studies have paid considerable attention to the application of the finite element method using modern software packages. In modern research, much attention is paid to the thermo-rheological properties of asphalt concrete, which allows you to predict the durability of the wearing more accurately.

According to the analysis of literary data, the efforts of many years of research aimed at increasing the durability of asphalt concrete pavement by improving the composition and technology of manufacture and application of asphalt concrete mixtures, have been finished with positive results and an appearance of a number of modern progressive varieties of asphalt concrete. One of them is the SMA. The literature overview shows the history of the development of the SMA, which indicates that the results are based mainly on empirical approaches.

The description of the SMA workability in the road surface has been analyzed by different researchers, the peculiarities of the SMA manufacturing technology, composition design and placing technology has been considered, the methods of estimating the SMA age limit has been given. It is noted that the use of the SMA wearing in domestic practice is often characterized by its insufficient durability

compared to the foreign one. Based on the literary data, it also means that the existing domestic regulatory method of designing pavement does not fully take into account the combined effect of wheel load and temperature fluctuations, as well as the effect of other influencing factors on the durability of the wearing.

Literature sources with respect to the modern vehicles body oscillation, when they move on public roads, namely to the amplitude-frequency characteristics during the transportation of the SMA have been studied. According to the analysis of the literature, the frequency of oscillation of the truck body depending on the nature of the irregularities can vary from 2 Hz to 25 Hz, and the acceleration can be from 0.2 to 4.0 or more values of the acceleration of free gravity.

The performed review of literary sources shows that the known studies do not sufficiently reflect the peculiarities of domestic conditions for the SMA usage, and also do not fully take into account the complex influence of factors (prescription parameters, wheel load, time in service, temperature fluctuations, etc.) to prolong the SMA pavement life.

The theoretical aspects of the research on the non-rigid made of the SMA pavement endurance are created in **the second chapter of the thesis**.

A practical hypothesis is adopted in the studies; which concept is as follows.

The durability of the SMA pavement defined mainly by its continuity fracture resistance as a result of the combined negative action of the most influential factors, such as wheel load, cover contraction due to the temperature decrease at its fluctuation, cover shrinkage due to the “aged” bituminous binder surfacing (oxidation, polymerization, polycondensation, evaporation and infiltration of light fractions of binder in micropores and microcracks of mineral material), influence of the moisture and frost actions, stratification of asphalt concrete mixture in violation of prescription-technological parameters, insufficient adhesion to the lower layer.

Hereat, it is permissible for the foliation resistance of the asphalt concrete mixture to be ensured in compliance with the requirements of prescription-technological parameters of current regulations and additional requirements developed on the basis of this dissertation research. Resistance of the SMA to plastic

deformations will be provided by the observance of requirements of current regulatory documents.

Taking into account the thermo-rheological properties of the SMA, the SMA pavement border-line criterion has been developed while using the provisions of the kinetic theory of solid strength and operating with the Palgrain-Miner and Bailey principles on the superposition of damage to the structure of the material during service life by the combined negative action of the most influential factors.

Analytical calculations that determine the tensile horizontal normal stresses in bending in the lower part of the pavement σ_h and tensile horizontal normal stresses in bending in the upper part of the covering σ_n are given, taking into account the design of the road metal-mastic asphalt concrete pavement under the wheel load.

Analytical dependences that determine the components of the criterion of the ultimate state of the SMA pavement are given, namely: measures of depletion of the SMA pavement durability from the load action - M_{Tp} , measures of exhaustion of the SMA pavement durability from temperature shrinkage - M_{yT} , measures of depletion of the SMA pavement durability from the “aged” bituminous binder material - M_{yC} and the degree of exhaustion of the SMA pavement durability from moisture and frost actions - M_{BMP3} .

The third chapter of the thesis is dedicated to the experimental study of the SMA pavement durability. Those studies included the laboratory, bend and field tests, and the numerical analysis.

Laboratory researches on the influence of the prescription-technological parameters on the most dangerous phenomenon that significantly affects the durability of the pavement have been arranged. It appeared to be the formation of un-uniform structure of the asphalt concrete mixture during its preliminary technology, and during the process of grain segregation as the result of the mixture foliation while being kept in the storage bin and transporting by the haul truck. Such foliation leads to the formations on the surface with an excess of binder (there is a risk of plastic deformation) and places with its insufficient amount (there is a risk of premature failure of integrity).

The obtained results of laboratory researches confirmed the known influence patterns on the standard expansion rate of SMA mixture (according to the Schelenberg method), content of stabilizing supplementations and various polymer modifiers, as well as new influence patterns of energy-saving kind and quantity for this characteristic are detected. Also, with the help of laboratory tests, the impact research was carried out on the mixture stratification, its holding time in metering storage hopper and transport time.

To assess the resistance of SMA mixture to the dynamic oscillations influence, it is proposed to use the mixture thixotropy coefficient, which is the ratio of the binder runoff obtained after oscillation tests of the SMA mixture (V_{dyn}) to the runoff index obtained during static holding (V_{st}).

The results of experimental studies confirm and explain the results of field observations due to the arrangement and behavior of the surface with SMA mixture alongside with domestic facilities.

The standard physico-mechanical and thermoreological and thermomechanical properties of SMA mixture were determined in laboratory studies. The parameters of SMA mixture compaction technology and its impact on mineral grain crushing were also.

Experimental determination of thermoreological and thermomechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete: creep function, relaxation function, function of temperature-time analogy, durability function, coefficient of linear temperature deformation, calculated values of elasticity strength modulus, tensile strength in bending, weariness indicator, integral indicator of resistance to track formation, adhesion strength between asphalt concrete layers at shear. These experiments were performed using methods and devices developed at NTU, in the research laboratory "Technology of materials and constructions of transport construction" in the mane of professor G.K. Xunyi, including with the participation of a respondent.

The study of the pavement behavior with SMA in various structures of pavement under the action of mobile transport load was performed on a ring stand.

The impact of the SMA mixture recipe and the pavement construction peculiarities on the pavement behavior depending on the number of car passages was analyzed.

The asphalt concrete pavement adhesion with SMA and the lower asphalt concrete layers were evaluated using the method of SOU 45.2-00018112-046.

The peculiarities of the stress-strain state and the limit state of the pavement with CMA under the action of transport load at different temperature conditions were investigated with the help of numerical analysis. Known analytical solutions, nomograms, finite-element software packages, and literature data were used for this purpose. A set of factors was identified that adversely affects the coating durability.

Field research was conducted by the streets and roads of settlements and public roads examination. The condition of the pavement was assessed and the types, prevalence and size of defects in the asphalt concrete were determined. Cuttings and cores were taken from characteristic areas, samples were made, and the properties of SMA were studied. The analysis of the inspection results of the pavement condition with SMA, operated at different load modes, made it possible to identify the factors that lead to a violation of the pavement continuity and confirm the theoretical preconditions for increasing its durability.

The fourth chapter of the dissertation is dedicated to the practical implementation of research results.

The technique of impact experimental estimation of prescription-technological parameters on covering durability from SMA is developed on the dissertation researches basis. It insists on checking the homogeneity coefficient of SMA mixture on the binder flow rate at the beginning of the mixture new batch release, as well as the thixotropy coefficient depending on the transport conditions.

Measures to increase the pavement durability with SMA have been improved: as well as aimed at the application of additional measures to control compliance with technological and prescription parameters; constructive - provide application of the principles of pavement road designing directed on increase of durability of a pavement with SMA.

The method of SMA mixture tests which allows to simulate impact of transportation is developed. The conducted researches allowed to develop additional

requirements to the stratification indicator of the binder SMA mixture depending on time of endurance in the drive and time of transportation.

It is also proposed to determine the homogeneity of the crushed-mastic asphalt mixture based on the analysis of the coefficient of variation of the flow rate of the binder of the crushed-mastic asphalt mixture during the manufacturing technology development.

The method of experimental of the pavement adhesion coefficient to the base determination has been improved, which consists in the use of a given complex effect of horizontal and vertical loads on the core selected from the road object with the top layer of SMA. After that, the sample is exposed to water-frost and tested for tension. This allows to simulate the effects of transport and climatic factors better and to assess their impact on the SMA pavement disuniting with the lower layers.

The research results were implemented during scientific and technical support and observation at such facilities as: Bazhana Avenue, Peremohy Avenue, Reunion Avenue, Perova Boulevard, Gagarin Avenue in Kyiv and on state roads M-06 Kyiv-Chop, M-03 Kyiv-Kharkiv-Dovzhansky, M-02 Kipti-Hlukhiv-Bachivsk, T-05-14 Dobropillya-Lyman in the Donetsk region.

In addition, the dissertation research results have found application in the development of regulations for the Ukraine road construction industry.

Key words: stone mastic asphalt, durability of the road surface, criterion of boundary condition of the coating, design methodology, recipe-technological parameters, thermoreological characteristics..

Список опублікованих праць за темою дисертації

- Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Куцман А.М., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты. Минск. 2008. №2. С. 16-20.

2. Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Куцман А.М. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд // Дороги и мосты. Москва. 2015. Вып. 34/2. С.102-112.

3. Баран С.А., Мозговой В.В., Куцман А.М., Боровик И.И. и др. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. Бишкек. 2016. Вып 1(51). С. 107-113.

4. Baran S., Mozgovyi V., Kutsman A. Improvement is strength calculation for pavement structure of rail station areas // Transbud – 2017, Structure, Materials and Infrastructure. 2017. volume 116.

- Статті у фахових виданнях:

5. Баран С.А. Особливості розрахунку дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2008. Вип. 75. С. 167-172.

6. Баран С.А., Ольховой Б.Ю., Куцман А.М., Прудкий А.В., Мозговой В.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. Макіївка. 2010. Вип. 2010-1(81). С. 174-180.

7. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю.. Розширення будівельного сезону за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів при низьких температурах // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2012. № 3. С. 30-32.

8. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю., Ольховий Б.Ю. Забезпечення якості випробувань асфальтобетонної суміші при визначенні її зернового складу та вмісту бітуму // Управління проектами, системний аналіз і логістика: наук. журнал. Київ. 2013. № 11. С. 69-76.

9. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М. Міцність дорожнього одягу – основа якості автомобільних доріг // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2013. №4 (234). С. 32-35.

10. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю., Нимчук К. И. Выбор энергосберегающих добавок для расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода с щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 90. С.49-56.

11. Баран С.А., Куцман А.Н., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В. и др. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2015. Вип. 55. С. 20-26.

12. Баран С.А., Мозговий В.В., Боровик І.І. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 57. С.77-83.

13. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.

14. Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговий В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Одеса. 2016. Вип. 63. С.167-173.

15. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2017. Вип. 100. С.68-76.

16. Баран С.А., Куцман О.М., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Бондар В.М. Аналіз термомеханічних процесів в асфальтобетонних шарах автомобільних доріг // Вісник ОДАБА. Одеса: зб. наук. праць. 2017. Вип. 67. С. 96-102.

17. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ващіліна О.В., Лебедєва І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.

18. Баран С.А., Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. Київ. 2019. Вип. 1 (43). С. 26-38.

- Оpubліковані праці апробаційного характеру:

19. Баран С.А., Мозговий В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Куцман О.М., Жуков В.Є. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2009. Вип. 33. С. 137-142.

20. Баран С.А. Підвищення гідроізоляційної здатності та якості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 131-138

21. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Куцман А.М. Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах // Сборник статей и докладов ежегодной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Москва. 2011. С.202-211.

22. Баран С.А., Ольховий Б.Ю. Стойкость теплых асфальтобетонов к накоплению пластичных деформаций // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ. 2013. Т.1. С.283 – 288.

23. Баран С.А., Мозговий В.В., Куцман О.М., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С. 294-302.

24. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Куцман О.М., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С.283-293.

- Свідоцтва та патенти:

25. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), B01F 7/00. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Онищенко А.М., Козлов П.В., Прудкий О.В., Лозовська І.Ю., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Жуков О.О., Резник Ю.Л. Дата реєстрації 10.02.2010.

26. Патент України на корисну модель № 123373 Україна, МПК (2018.01), E01C 11/12. Пристрій для підготовки проб бітумів, модифікованих полімерами, до випробування на розшарування при зберіганні / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

27. Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення „Комп'ютерна програма розрахунку довговічності щебенево-мастикового асфальтобетону”, 09.08.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

28. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір „Методика конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону”, 21.12.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

29. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 62287 Україна. Літературний письмовий твір практичного характеру «Стандарт організації України. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення. СОУ 42.1-37641918-009:2013 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.10.2015 р.

30. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 67973 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах ГБН В.2.3.-547;2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.09.2016 р.

31. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 68416 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому. СОУ 45.2-00018112-058:2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 01.11.2016 р.

32. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 73075 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Визначення розрахункових модулів пружності. СОУ 45.2-00018112-059 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Чиженко Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

33. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 83830 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Оцінка впливу комплексних модифікаторів на основі вторинного поліетилену низького тиску на властивості бітумних в'язучих» // Мозговий В.В., Баран С.А., Лаптева Н.С., Маркович А.П. Дата реєстрації 20.12.2018 р.

- Оpubліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

34. Баран С.А., Мозговий В.В., Герасимов В.В., Жуков В.Є., Онищенко А.М., Куцман О.М. Покращення якості асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання модифікатора дорожнього бітуму К-1 // Дороги і мости: зб. наук праць. Київ. 2008. Вип. 9. С. 172-174.

35. Баран С.А., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Лютенко В.А. Підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 84-87.

36. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Покращення гідроізоляційної здатності асфальтобетонного покриття мостів за рахунок застосування теплих асфальтобетонних сумішей // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. зб. Київ. 2013. Вип. 50. С. 97-102.

37. Баран С.А., Бондар В.М. Оцінка впливу тиксотропії на якість щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 117-122.

38. Баран С.А., Куцман О.М.. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 143-146.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	32
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	38
1.1 Особливості складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та умови роботи щебенево-мастикового асфальтобетону у покритті нежорсткого дорожнього одягу	39
1.2 Існуючі технології виготовлення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону	43
1.3 Існуючі методи конструювання та розрахунку покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону дорожнього одягу нежорсткого типу	51
1.4 Існуючі підходи до підвищення довговічності покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону	60
1.5 Короткі висновки	65
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ	67
2.1 Аналіз чинників, що впливають на довговічність покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону	67
2.2 Метод оцінки граничного стану покриття із щебенево- мастикового асфальтобетону	68
2.3 Дослідження температурного режиму покриття щебенево- мастикового асфальтобетону	77
2.4 Короткі висновки	78

РОЗДІЛ 3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРИТТЯ ІЗ ШЕБЕНЕВО- МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ	80
3.1	Дослідження впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону	80
3.2	Методи лабораторного визначення термореологічних характеристик щебенево-мастикового асфальтобетону	93
3.3	Результати лабораторних досліджень	104
3.4	Числовий аналіз	115
3.5	Методи натурного дослідження асфальтобетонного покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону	115
РОЗДІЛ 4	ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	119
4.1	Методика проектування дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону	119
4.2	Заходи з підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття	127
4.3	Методика випробувань щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, що дозволяє імітувати вплив транспортування	130
4.4	Оцінювання економічної ефективності застосування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття	134
ВИСНОВКИ		135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		138
ДОДАТОК А	Результати натурних та експериментальних досліджень ..	153
ДОДАТОК Б	Оцінювання економічної ефективності	205
ДОДАТОК В	Довідки про впровадження результатів розробок	209

ДОДАТОК Г	Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	214
-----------	--	-----

ВСТУП

Актуальність теми.

На даний час в Україні як і в усьому світі найпоширенішим покриттям доріг та вулиць є асфальтобетонне, завдяки своїм перевагам, що проявляються під час будівництва, експлуатації й ремонту. Безпечний і комфортний рух транспорту можливо забезпечити тоді, коли дорожнє покриття не потребує частих ремонтних втручань і протистоїть передчасному накопиченню залишкових деформацій, зберігає суцільність при циклічному згині від проїзду транспортних засобів та при багаторазовій дії розтягуючих напружень в результаті коливань температури, а також зберігає суцільність при впливі водоморозних циклів. Саме над створенням такого асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності останні десятиліття працювали вчені багатьох країн отримавши ряд передових розробок. До таких розробок відноситься щебенево-мастиковий асфальтобетон (далі ЩМА) – один із сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону, що найкраще відповідає вимогам до матеріалів покриття автомобільних доріг і вулиць з важким та інтенсивним рухом. Цей матеріал вже набув широкого розповсюдження у більшості країн світу і близько двох десятків років застосовується в Україні. Однак щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нерідко передчасно руйнується, що погіршує безпеку руху і призводить до значних витрат на ремонт. Це пояснюється відносно невеликим досвідом його застосування у вітчизняній практиці, що потребує (з більш детальним урахуванням кліматичних умов України) удосконалення методики розрахунку конструкцій дорожнього одягу, проектування складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші і контролю якості її виготовлення та застосування. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від багатьох факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, температура та ін.).

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону, з урахуванням комплексної дії впливових факторів.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати роботи одержані в процесі виконання науково-дослідних робіт кафедрою дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Провести дослідження, удосконалити методику визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу та експериментальний зразок приладу для його визначення» (д/б № 53-19, номер державної реєстрації 0119U101525); «Розробка СОУ на метод приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами за допомогою лабораторної лопатевої мішалки» (д/б № 90-11, номер державної реєстрації 0111U005440); «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 91-11, державний реєстраційний № 0111U005559); «Розробити стандарт організації України на метод визначення розрахункових модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (державний реєстраційний № 0109U007696), «Провести дослідження та розробити СОУ на метод випробування монолітних дорожньо-будівельних матеріалів на втому (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (державний реєстраційний № 0109U007696), та плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету: «Розробка методики проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону» (державний реєстраційний № 0109U002153); «Розробка технології будівництва довговічних асфальтобетонних шарів із теплого асфальтобетону, виготовленого з використанням твердих вуглеводнів» (державний реєстраційний

№ 0112U000140), «Розроблення вимог до асфальтобетону, направлених на розширення будівельного сезону при будівництві автомобільних доріг» (державний реєстраційний № 0113U000301), «Математичне моделювання напружено-деформованого стану дорожнього одягу з температурними швами і тріщинами» (д/б № 23, державний реєстраційний № 0103U003173).

Мета і задачі досліджень. *Мета* досліджень – удосконалення проектування дорожнього покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону з урахуванням характерних особливостей порушення його суцільності від впливу технологічних процесів і спільної дії транспортних і кліматичних факторів, та на цій основі визначення ефективних заходів для підвищення його довговічності.

Для досягнення мети були поставлені такі *задачі*:

- провести аналіз умов роботи і характеру руйнування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;
- встановити аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття з урахуванням дії факторів, що на нього впливають;
- на основі експериментальних досліджень встановити розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на довговічність;
- встановити основні закономірності комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;
- удосконалити метод проектування нежорсткого дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону;
- розробити практичні рекомендації з підвищення довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Об'єкт дослідження – дорожнє покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Предмет дослідження – довговічність покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Методи дослідження – експериментально-аналітичні.

Наукова новизна отриманих результатів:

- *вперше встановлено* аналітичні залежності для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття із ЩМА та оцінки його граничного стану від комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів з урахуванням процесів усадки;
- *удосконалено* метод проектування конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастиковим асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності;
- *отримав подальший розвиток* метод експериментального оцінювання якості технології приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші за показниками, що впливають на довговічність покриття.

Практичне значення одержаних результатів:

- *розроблено* методику експериментального оцінювання впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЩМА;
- *удосконалено* методику експериментального визначення показника зчеплення покриття з нижніми шарами конструкції дорожнього одягу;
- *удосконалено* заходи з підвищення довговічності покриття із ЩМА.

Результати роботи використані:

При розробці практичних заходів з підвищення довговічності вулиць і доріг в м. Києві з урахуванням режиму навантаження від транспортних засобів, складу та інтенсивності руху, особливостей конструкції дорожнього одягу. При розробці нормативних документів з вимог до якості асфальтобетонних сумішей було враховано основні рецептурно-технологічні чинники, що впливають на якість асфальтобетону. При розробці нормативних документів з методів випробування дорожньо-будівельних матеріалів та з проектування дорожнього одягу було враховано термомеханічні процеси, що впливають на довговічність

конструкцій. При вдосконаленні методики обстеження покриття автомобільних доріг і вулиць під час експлуатації з врахуванням історії будівництва та ремонтів, особливості конструкції, характеру руйнування та характеру зв'язку між асфальтобетонними шарами.

Особистий внесок здобувача. У праці [1] автором запропоновано оцінювати однорідність ЩМАС за коефіцієнтом варіації показника стікання в'язучого, який визначають на основі відбору точкових проб з однієї партії суміші під час періодичних випробувань. У працях [2, 3] автором запропоновано оцінювати показник стікання в'язучого за вдосконаленою методикою, що враховує вплив динамічних коливань кузова автосамоскида при транспортуванні ЩМАС. У працях [4, 5] сформульовані особливості термонапруженого стану дорожніх покриттів, у тому числі з поперечними тріщинами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 64-70 у 2008-2019 рр.; на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях: «Ремонт та експлуатаційне утримання цементобетонних покриттів» 15 липня 2010 р., Київ, Україна; на 10-му Міжнародному Форумі з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів "АВТОДОРЕКСПО 2012" 27 – 29 листопада 2012 р., Київ, Україна; «Сучасні методи і технології проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд на автомобільних дорогах», 4 – 5 квітня 2013 р., Київ, Україна; на XXVI щорічній науковій сесії Асоціації Дослідників Асфальтобетону 29 – 30 січня 2014 р., Москва, Росія.; «Бетони та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва і застосування» 4 – 5 червня 2014 р., Київ, Україна; на науково-практичних семінарах (Укравтодор) «Ресурсозберігаючі технології та матеріали для ямкового ремонту дорожніх покриттів» 21 серпня 2014 р., Київ, Україна; «Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали» 30 вересня – 01 жовтня 2015

р., Київ, Україна; «Наноматеріали і нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів» 20 – 21 квітня 2016 р., Київ, Україна; «Сучасні матеріали та технології при новому будівництві, реконструкції та ремонтах автомобільних доріг загального користування» 26 травня 2016 р., Київ, Україна; «Гідротехнічне та транспортне будівництво» 3 – 6 червня 2016 р., Одеса, Україна.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 38 публікаціях: з них 4 статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 14 статей у фахових виданнях, 6 праць апробаційного характеру, 5 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 2 патенти України та 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел зі 143 найменувань та чотири додатки. Основний текст викладений на 137 сторінках. Текст ілюструється 27 рисунками і містить 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Існуючий міжнародний досвід свідчить, що асфальтобетонне покриття найбільш зручне для будівництва, експлуатації і ремонту за доступністю компонентів, технологічністю, міцністю, стійкістю до впливу кліматичних факторів та антиожеледних реагентів. Асфальтобетон відноситься до універсальних композитів з досить широкою можливістю направленою регулювання властивостей. Такі покриття за даними Б.С. Радовського [6] складають близько 95% від загальної протяжності доріг з твердим покриттями капітального типу. Переважна більшість автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям мають нежорсткий дорожній одяг.

Дослідженню довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу присвячено значний перелік робіт багатьох відомих вчених: І. Айзенмана, О.Т. Батракова, А.М. Богуславського, Ю.М. Васильєва, М.І Волкова, В.А. Веренька, І.П. Гамеляка, Б.Г. Гезенцевя, М.В. Горєлишева, Л.С. Губача, В.І. Гуляєва М.М. Дмитрієва, В.О. Золотарьова, В.К. Жданюка, М.М. Іванова, А.А. Іноземцева, Ж. Карофа, П. Кендла, І.В. Корольова, Б.І. Ладигіна, О.В. Марчука, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, К. Моносміта, А.М. Онищенко, Д.О. Павлюка, Б.Г. Печеного, І. Полячека, Б.С. Радовського, О.О. Рассказова, І.А. Риб'єва, А.В. Руденського, В.Я. Савенка, А.О. Сая, Д. Сібільського, Г.К. Сюньї, Б.Б. Телтаєва, В. Хайкелом та їхніх учнів і послідовників. Було встановлено основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформівного тіла, розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового на півпросторі,

інженерні методики розрахунків, а також критерії граничного стану. Як свідчить аналіз літературних даних, зусилля багаторічних досліджень, направлених на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок удосконалення складу асфальтобетону та технології виготовлення і застосування асфальтобетонних сумішей, завершилися успішними практичними результатами появи ряду сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону. До одного з них саме і відноситься ЩМА.

1.1 Особливості складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та умови роботи щебенево-мастикового асфальтобетону у покритті нежорсткого дорожнього одягу

1.1.1 Особливості складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші

Відомо, що технічний рівень автомобільних доріг має відповідати вимогам основних транспортно-експлуатаційних характеристик, де покриттю відводиться роль виконання особливих функцій [7-9]. Покриття повинно бути стабільно міцним, рівним, шорстким, протистояти накопиченню пластичних деформацій влітку, зберігати суцільність при прогині навесні і восени та при розтягуванні від охолодження в зимовий період. Для тривалого збереження шорсткості матеріал покриття повинен бути стійким до стирання і відповідати умовам руху транспорту.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон – один з матеріалів, що найкраще відповідає зазначеним вимогам. Підвищена зносостійкість, міцність щебеневого каркаса дозволяють влаштовувати з них шари покриття меншої товщини без зниження загального модуля пружності та, як правило, зі збільшеним терміном служби покриття та поліпшеними експлуатаційними показниками.

Як свідчать літературні дані [10 - 13] щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші набули великої популярності, що є наслідком їх високих експлуатаційних характеристик та надійності. Основними перевагами ЩМА є: шорстка текстура поверхні, що забезпечує достатнє зчеплення колеса з

покриттям; висока зсувостійкість при високій літній температурі; висока зносостійкість покриття; тріщиностійкість при впливі коливань температури та транспортних навантажень за рахунок кращих деформативних і міцності властивостей; стійкість до старіння, морозостійкість, водостійкість, зниження ймовірності аквапланування та зменшення шуму.

Щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші були розроблені в Німеччині у 60-і роки минулого століття, ґрунтуючись на результатах ключових досліджень Ж. Зіхнера та опирались, головним чином, на емпіричні підходи [11 - 13]. Технічні вимоги як німецьких норм [14] так, і більшості країн являють собою, по суті, метод «рецептів», що полягає у використанні нормованих зернових складів переривчатої гранулометрії із забезпеченням нормованої залишкової пористості при використанні бітумного в'язучого з заданими вимогами та показника стікання за рахунок використання стабілізуючих добавок. Практична апробація ЩМА у тих чи інших регіонах фактично приводила до внесення відповідних коректив при розробці власних національних нормативних документів [14, 15 - 17]. Склад ЩМАС характеризується високим вмістом крупних зерен, що створюють мінеральний кістяк в кількості 60-80% за масою, пустотність якого заповнюється мастиковою частиною, що складається з асфальтового в'язучого та асфальтового розчину. До появи ЩМА дослідниками асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону (П.В. Сахаров, М.М. Іванов, Л.Б. Гезенцвей, М.І. Волков, Г.К. Сюньї, А.М. Богуславський, М.В. Горєлишев, І.О. Риб'єв, В.О. Золотарьов, І.В. Корольов та ін.) була створена теорія структуроутворення з використанням фундаментальних положень фізико-хімічної механіки будівельних матеріалів [18], згідно з якою за способом ущільнення асфальтобетонні суміші розділяють на ті що ущільнюються та литі. Для практичної реалізації були розроблені гарячі, теплі та холодні суміші з утворенням мінімальної товщини плівки бітумного в'язучого на поверхні мінеральних матеріалів, що забезпечує його максимальну когезійну міцність. Однак у зв'язку з підвищенням параметрів навантаження від вантажних

транспортних засобів та їх долі у транспортному потоці вимагало підвищення характеристик асфальтобетону для забезпечення міцності та довговічності покриття та всього дорожнього одягу. Саме ідея збільшення кількості каркасних зерен в асфальтобетоні вказувала шляхи на вирішення таких задач. Однак існувала проблема при високих технологічних температурах витікання мастикової частини із ЩМАС. Цю проблему було вирішено за рахунок застосування волокон різного походження, серед яких найширшого застосування тонко дисперсні волокна із целюлози.

Останніми роками на основі реальної практики застосування ЩМА та зростаючих транспортно-експлуатаційних вимог до покриття удосконалюють методики проектування складу ЩМАС, намагаючись точніше характеризувати фізико-механічні властивості та експлуатаційну поведінку асфальтобетону. З аналізу приведених досліджень [12, 13, 16] можна зробити висновок, що при підборі асфальтобетонних сумішей необхідно ретельно враховувати об'ємно-вагові характеристики.

В Україні за останні роки також проводились дослідження, направлені на підвищення технологічності та довговічності ЩМА, захищено ряд дисертаційних робіт, здійснюється моніторинг на державному рівні (ДерждорНДІ) за станом застосування нових матеріалів і технологій у тому числі і використання ЩМА. Зокрема дослідженнями професора В.О.Золотарьова та В.В. Маляра було розроблено високоміцний ЩМА в якому відсутні стабілізуючі волокна [19, 20]. Роль стабілізатора, що унеможливорює стікання бітумного в'язучого з поверхні крупних мінеральних зерен виконує мінеральний порошок, вміст якого в суміші мінеральних матеріалів складає максимально рекомендоване значення стандарту (13-16%).

1.1.2 Умови роботи щебенево-мастикового асфальтобетону у покритті нежорсткого дорожнього одягу

Покриття із врахуванням умови роботи матеріалу відповідно до діючих нормативних документів [8] повинно бути: достатньо міцним, довговічним, витривалим та стійким при русі транспортних засобів; водонепроникним та

забезпечувати поверхневий водовідвід з проїзної частини; стійким до перемінного зволоження та замерзання; забезпечувати розподіл транспортного навантаження на конструктивні шари, що лежать нижче, та зменшувати можливі динамічні удари; рівним та забезпечувати плавність руху; шорстким і забезпечувати достатнє зчеплення з шинами автомобілів та таким, що легко піддається ремонту. Тому дорожнє покриття перебуває у складніших експлуатаційних умовах ніж інші шари в конструкції дорожнього одягу [4, 6, 21, 22 - 55].

Основними перевагами ЩМА є: шорстка текстура поверхні, що забезпечує достатнє зчеплення колеса з покриттям; висока зсувостійкість при високій літній температурі; висока зносостійкість покриття; тріщиностійкість при впливі температури та транспортних навантажень за рахунок кращих деформативних і міцності властивостей; стійкість до старіння за рахунок підвищеного вмісту в'язучого; зниження ймовірності аквапланування; висока водонепроникність. Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу влаштовують при необхідності стійкості покриття до виникнення пластичної колії із-за високих транспортних навантажень, а також при необхідності влаштування дорожніх покриттів з ЩМАС з різними специфікаціями по шарах для забезпечення різних функціональних і структурних умов руху транспорту по смугах руху.

Під час експлуатації на покриття впливає ряд несприятливих факторів, що діють як окремо, так і спільно, їх умовно ділять на дві групи:

- циклічні тимчасові та довготривалі навантаження від транспорту, що викликають складний несприятливий напружено-деформований стан покриття;
- вплив факторів зумовлених атмосферними явищами (коливання температури, атмосферні опади, перемінне заморожування-відтавання води в порах і ушкоджених місцях, вплив агресивних середовищ в результаті потрапляння на покриття соляних розчинів, паливо-мастильних матеріалів та ін.).

На довговічність асфальтобетонного покриття значно суттєвий вплив чинить транспортне навантаження, про що свідчить аналіз експериментальних досліджень в роботах [25, 42, 56 - 61].

В ряді робіт відмічається вихід з ладу покриття із ЩМА на дорогах України що проявляється наступними видами руйнувань і деформацій поперечні та поздовжні тріщини, сітка тріщин, напливи, зсуви, хвилі, що зумовлені різними причинами [1, 41, 44, 52 – 54, 62].

1.2 Існуючі технології виготовлення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону

1.2.1 Технологія виготовлення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші

Гарячі щебенево-мастикові суміші готують на звичайних асфальтобетонних заводах зі змішувачами примусового перемішування. Проблем, пов'язаних з приготуванням ЩМАС, як правило, не виникає.

Стабілізуючу добавку найчастіше вводять в мінеральну суміш перед об'єднанням її з бітумом. При цьому подача стабілізатора може проводитися як вручну, так і за допомогою спеціальних систем дозування. У змішувачах безперервної дії передбачається постійне дозування гранульованої добавки в змішувальний барабан паралельно подачі мінерального порошку.

Технологічний процес приготування суміші у змішувачах періодичної дії включає наступні основні операції:

- підготовку мінеральних матеріалів (подача і попереднє дозування, сушка і нагрівання до необхідної температури, пофракційного дозування);
- подачу холодних мінерального порошку і стабілізуючої добавки, дозування їх перед подачею в змішувач;
- підготовку бітуму (розігрів і подача з бітумосховища в бітумоплавильню, випарювання вологи, яка міститься у ньому і нагрівання до

робочої температури, за необхідності введення поверхнево-активних речовин та інших поліпшуючих добавок, дозування перед подачею в змішувач);

- «сухе» перемішування гарячих мінеральних матеріалів з холодним мінеральним порошком і стабілізуючою добавкою;

- перемішування мінеральних матеріалів з бітумом і вивантаження готової асфальтобетонної суміші в накопичувальний бункер або автомобілі-самоскиди.

Технологічний процес приготування суміші у змішувачах безперервної дії відрізняється відсутністю роздільного дозування гарячих мінеральних матеріалів і об'єднанням процесу нагрівання з перемішуванням вихідних компонентів в одному сушильно-змішувальному барабані.

Стабілізуючу гранульовану добавку вводять в мішалку на розігрітий кам'яний матеріал перед або разом з мінеральним порошком, передбачаючи «сухе» перемішування в змішувачах циклічної дії протягом 15-20 секунд. При подальшому «мокрому» перемішуванні суміші з бітумом протягом 10-20 секунд стабілізуюча добавка повинна рівномірно розподілитися в об'ємі асфальтов'язучої речовини.

Тривалість перемішування суміші визначається технічними параметрами змішувальної установки, ступенем зносу лопатей мішалки та повинна забезпечувати рівномірний розподіл і повне обволікання дискретних зерен мінерального матеріалу бітумом, включаючи волокна.

Приготовану асфальтобетонну суміш зі змішувача переміщують в накопичувальний бункер або безпосередньо в кузов автомобіля-самоскида.

Для запобігання розшарування асфальтобетонної суміші, яка вміщує підвищену кількість в'язучого у порівнянні з традиційними типами асфальтобетону, під час процесів транспортування та укладання до неї вводять стабілізуючу добавку [12, 13, 15, 17,].

Стабілізуюча добавка – речовина, що стабілізує щебенево-мастикову асфальтобетонну суміш, забезпечуючи її стійкість до розшарування [15].

Спочатку як стабілізуючі добавки використовували переважно волокна азбесту й гумову крихту [12, 17], потім, у ЩМА стали додавати целюлозні, полімерні й мінеральні волокна, спеціальні термопластичні полімери й похідні кремнієвої кислоти. В якості стабілізуючих добавок найширшого застосування набули матеріали у вигляді волокон, особливо целюлозні волокна, широкомасштабні дослідження яких проводились закордонними та вітчизняними вченими [11, 12, 19, 63].

На сьогодні широко застосовуються стабілізуючі добавки на основі целюлозних волокон завдяки своїй технологічності й відносно низькій собівартості [12]. У таблиці 1.1 наведені дані про геометричні показники деяких волокон.

Таблиця 1.1 – Порівняння властивостей деяких волокон

Волокна	Діаметр, мкм	Довжина, мкм	Густина г/м ³	Теоретична питома поверхня, м ² /г
Хризотил	0,1-1	500-1000	2,7	7,5
Мінеральне волокно	3-7	200-800	2,7	0,6
Скло	5-6	200-1000	2,5	0,3
Целюлоза	20-40	900-1100	0,9	0,16

Для всіх країн Західної Європи характерним є певні особливості умов приготування та транспортування ЩМАС, де з метою запобігання розшарування сумішей не практикують витримування або обмежують час перебування в бункері накопичувачі, та розміщують асфальтобетонні заводи біля об'єктів будівництва таким чином, щоб відстань транспортування не перевищувала 30 – 40 км. Крім того, останнім часом широко впроваджуються перевантажувачі ЩМАС для її гомогенізації перед укладанням суміші асфальтоукладачем. Крім того, суттєву увагу на Європейських асфальтобетонних заводах приділяють точності дотримання запроектованого складу ЩМАС. З цією метою застосовують вузькі фракції кам'яного матеріалу, зберігання дрібних фракцій під накриттям, тверде покриття майданчиків для зберігання кам'яних матеріалів та достатня кількість бункерів і дозаторів

попереднього дозування матеріалів. Особливу увагу приділяють ретельному і строгому контролю якості на всіх етапах проектування, виробництва та випробування ЩМАС. Всі ці та інші заходи у комплексі забезпечують високу якість і однорідність ЩМАС у тому числі й унеможливають розшарування суміші при транспортуванні та укладанні на об'єкті будівництва.

Мастична частина ЩМАС являє собою композитний матеріал, що складається із бітумної матриці і відповідних наповнювачів та проявляє характерний для структурованих систем тиксотропні властивості [64, 65]. Виходячи із визначення поняття тиксотропії – тимчасового пониження в'язкості в'язко-текучої або пластичної системи в результаті її деформації незалежно від фізичної природи змін, що відбуваються в ній, витікання мастичної частини ЩМАС значною мірою залежить від ступеня зменшення в'язкості такої дисперсної структурованої системи в результаті впливу динамічних коливань на розшарування ЩМАС при її транспортуванні особливо на великі відстані та по автомобільних дорогах із значними нерівностями.

Відомо, що явище тиксотропії проявляється в розрідженні систем з коагуляційною дисперсною структурою при механічній дії та їхньому загущенні після її припинення. Тобто це зміна реологічних параметрів системи в часі від інтенсивності дії зсуву, або деформації [66].

З метою визначення показника розшарування від часу транспортування було проаналізовано літературні джерела щодо коливань кузова автомобіля під час транспортування ЩМАС.

При транспортуванні ЩМАС в кузові автомобіля відбувається її коливання з відповідними амплітудно-частотними характеристиками. Що характерні для сучасних транспортних засобів, коли вони рухаються автомобільними дорогами загального користування. Аналіз літературних даних свідчить що частота коливання кузова вантажного автомобіля в залежності від характеру нерівностей може змінюватися від 2 до 25 Гц, а прискорення може

становити від 0,2 до 4 і більше значень прискорення вільного тяжіння та залежать від фактичної рівності автомобільної дороги [67, 68].

В чинному ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові» передбачено можливість витримувати суміш в бункері накопичувачі до 2 годин, а час транспортування не регламентується, проте вимоги до показника стікання не враховують час зберігання в накопичувальному бункері та час транспортування і передбачають, щоб значення показника стікання не перевищували 0,2.

Вище сказане дає можливість направлено регулювати ступінь тиксотропності мастичної частини ЩМАС, виходячи із фізико-хімічної природи зміни її в'язкості. Водночас тиксотропна природа зменшення в'язкості мастичної частини ЩМАС при високих технологічних температурах при впливі динамічних чинників, пов'язаних з коливаннями кузова автомобіля повинна обов'язково враховуватися при вирішенні питань проектування складу ЩМАС та технології транспортування.

1.2.2 Технологія влаштування покриття із ЩМА

За даними Зубкова А.Ф. температура, при якій влаштовуються гарячі асфальтобетонні суміші, є основним чинником, що впливає на експлуатаційні показники покриття при влаштуванні асфальтобетонних покриттів з гарячих сумішей. Недотримання температурних режимів, пов'язаних з приготуванням, транспортуванням, розподілом і ущільненням гарячих асфальтобетонних сумішей, є причиною утворення на поверхні покриття ділянок з різними характеристиками міцності, коефіцієнтами ущільнення і водопроникністю, що призводить до утворення дефектів покриття в процесі експлуатації дороги.

Закономірності технологічних процесів досліджували Н.В. Горелишев, А.А. Шестопапов, Т.Н. Калашникова, В.Б. Пермяков, Є.Б. Локшин та інші автори, що займалися питаннями будівництва дорожніх покриттів із застосуванням гарячих асфальтобетонних сумішей.

Влаштування дорожніх покриттів із застосуванням гарячих асфальтобетонних сумішей проводиться механізованою ланкою машин,

параметри якої повинні забезпечити заданий темп будівництва та відповідати прийнятої технології виконання робіт.

Перед початком влаштування ЦМАС основу готують так як і при влаштуванні інших традиційних асфальтобетонів. Гарячі щебенево-мастичні суміші влаштовують із застосуванням звичайних асфальтоукладальних і ущільнюючих засобів. Проте, ці робочі операції також мають свої особливості.

1. Укладання ЦМАС рекомендується проводити відразу на всю ширину проїзної частини за допомогою сучасних асфальтоукладальників на гусеничному ході, оснащених автоматикою нівелювання. Число одночасно працюючих машин призначають залежно від ширини покриття і поперечних габаритів ущільнюючих органів укладальників. З урахуванням погодних умов і заходів безпеки при ешелонному укладанні сумішей асфальтоукладальники розташовуються уступом на відстані 10-30 м один від одного. При цьому відповідно до технологічного регламенту автоматична система контролю рівності укладальників працює від копірної струни, датчика поперечного ухилу або довгобазової лижі.

2. До початку укладання асфальтоукладальники мають бути підготовлені до роботи згідно з інструкцією з їх експлуатації.

Задається кут атаки вигладжувальної плити величиною 2-3 градуси. Відстань від нижньої кромки лопаті шнека до поверхні основи має дорівнювати приблизно половині товщини шару. Амплітудний хід трамбуючого бруса повинен знаходитися в межах 5-6 мм, а частота його ударів – близько 1000 хв^{-1} . Частота вібрації віброплити в разі необхідності налаштовується на 40 Гц. Причому, вібраційний режим плити рекомендується використовувати тільки в крайніх випадках, при товщині шару, що влаштовується не менше трикратного розміру найбільшої фракції щебеню в суміші. Здійснюється пробний прохід асфальтоукладача.

Після правильного налаштування робочих органів асфальтоукладача, як правило, на поверхні укладеного шару з ЦМАС видимих дефектів не виникає. У виняткових випадках їх виправляють вручну за відомою технологією до

початку ущільнення. Однак не слід забувати про те, що через підвищену липкість в'язучого щебенево-мастиково суміш вкрай важка для ручних робіт.

3. Для отримання рівної поверхні шару необхідно забезпечувати непереривчастість завезення, розвантаження та укладання щебенево-мастичної суміші. Швидкість руху асфальтоукладальника повинна бути не менше 2,0-3,0 м/хв. Безперервна робота органів подачі матеріалу забезпечує постійний тиск суміші на вигладжувальну плиту, що є основною умовою отримання рівної поверхні покриття. Рекомендується підтримувати заповнення шнекової камери на рівні, або трохи вище осі валу шнека.

Приймальний бункер асфальтоукладача завжди повинен бути заповнений не менш ніж на 25%. При нетривалих перервах в транспортуванні суміш не слід повністю висипати з бункера. У разі вимушеної зупинки укладальника на 15-20 хвилин решту матеріалу переміщують в обігрівальну шнекову камеру через те, що ЩМАС при охолодженні твердне набагато швидше, ніж звичайні асфальтобетонні суміші. При тривалих простоях всю суміш, що знаходиться в бункері, шнековій камері і під плитою асфальтоукладача слід повністю витратити (укласти в шар), і відігнати укладальник вперед.

4. З практичного досвіду встановлено, що для забезпечення продуктивної роботи в парі з одним асфальтоукладальником достатньо двох гладковальцевих котків статичної дії масою 8-10 тонн. Необхідний ступінь ущільнення шару ЩМА досягається в середньому при 4-6 проходах котка по одному сліду. Оптимальну кількість проходів котків рекомендується уточнити при пробному укоченні суміші на дослідній ділянці. Зайві проходи котків також небажані, тому що можуть привести до дроблення щебеню і появи локальних бітумних плям на поверхні покриття.

Враховуючи специфічну структуру ЩМА особливо ретельно необхідно підходити до фінішного ущільнення шарів з дотриманням таких правил.

Використання котків більшої маси або віброущільнення може призвести до руйнування окремих зерен кам'яного матеріалу і всієї скелетної структури в цілому. Котки повинні рухатися короткими захватками зі швидкістю 5-6 км/год

з максимально можливим наближенням до асфальтоукладальника. У процесі укатки сталеві вальці постійно змочують мильним розчином, водно-гасовою емульсією або просто водою. Рясне зрошення вальців неприпустимо, оскільки веде до прискореного охолодження ущільнюваного шару. Нерівномірне зрошення водою загрожує налипанням суміші на вальці. При цьому, на поверхні покриття, що укочується, з'являються дефекти у вигляді раковин. Подібні дефекти ліквідують вручну шляхом додавання і розрівнювання гарячої суміші перед проходом котка.

Застосування пневмоколісних котків при ущільненні ЩМАС не рекомендується.

За даними [12] в зарубіжних країнах є досвід влаштування двох шарів ЩМА. Як правило, нижній шар виконується з ЩМА-20 товщиною 6 - 8 см, а верхній з ЩМА-15 або ЩМА-10 товщиною 3 - 4 см. Принципова відмінність вимог до щебенево-мастикового асфальтобетону що влаштовують в нижньому шарі полягає у використанні декілька меншої кількості бітумного в'язучого і більшої величини залишкової пористості. Робиться це з чисто економічних міркувань. Необхідність в таких конструкціях виникає при влаштуванні покриття стійкого до виникнення пластичної колії із-за високих транспортних навантажень, а також при необхідності у міських умовах влаштування дорожніх покриттів з ЩМАС з різними специфікаціями по шарах для забезпечення різних функціональних і структурних умов руху транспорту по смугах руху.

У табл. 1.2 зведені основні типи і можливі місця застосування подвійних шарів ЩМА.

Таблиця 1.2 – Типи подвійних шарів ЩМА

Типи покриттів ЩМА	Характеристики	Сфера застосування
Подвійний вертикальний шар	Два шари, один над іншим, кожен зі своїми властивостями. Для комбінованої структури покриття, перехрестя, перетинів і так далі	важке транспортне навантаження, місця зупинок громадського транспорту, перехрестя
Дві горизонтальні смуги	Дві смуги, укладені поряд, з різними властивостями. Для смуг з різним транспортним навантаженням.	вулиці з невеликим транспортним навантаженням, що мають декілька смуг для руху в одному напрямі, причому рух громадського або важкого транспорту здійснюється по правій смузі
Подвійний перевернутий вертикальний шар	Крупний ЩМА, укладений поверх дрібного ЩМА. Жорстке покриття для високого транспортного навантаження.	жорстке покриття на вулицях з важким транспортним навантаженням і на майданчиках для розвантаження транспорту

1.3 Існуючі методи конструювання та розрахунку покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону дорожнього одягу нежорсткого типу

1.3.1 Існуючі методи конструювання дорожнього одягу нежорсткого типу

Дорожній одяг, як найбільш відповідальний елемент автомобільної комунікації, повинен володіти високими експлуатаційними характеристиками, і, відповідно, бути досить міцним. Тобто він під впливом багаторазово повторюваних навантажень від транспортних засобів, що рухаються повинен зберігати протягом строку служби суцільність і рівність своєї першопочаткової структури [69].

Відзначимо, що існуючі методи проектування нежорстких дорожніх одягів можна розділити на п'ять основних груп [69]: емпіричні методи, методи обмеження руйнування при зсуві, методи обмеження прогину, методи засновані на дорожніх випробуваннях (регресійний метод) та механіко-емпіричні методи.

Проектування дорожніх покриттів ґрунтуються переважно на емпіричних методах. Це означає, що залежно між вихідними даними (навантаження,

властивості матеріалів шарів тощо) і відмовою дорожнього покриття отримані або з досвіду досвідченим, або експериментально, або їх комбінацією [69].

Сучасні підходи до проектування дорожнього покриття ґрунтуються на двох основних складових.

Спочатку виконується конструювання тобто вибираються різновиди матеріалів шарів та раціональне їх розміщення таким чином, щоб найкраще використати механічні та теплофізичні властивості матеріалів і забезпечити довговічність, технологічність й економічність як конструкції всього дорожнього одягу, так і покриття [7]. На основі цього намічають декілька варіантів конструкцій для розрахунку.

Після цього виконується розрахунок розроблених варіантів конструкцій асфальтобетонного покриття на міцність від дії транспорту [7]. Розрахунок на міцність полягає в з наступним вибором найбільш раціонального варіанту для даного об'єкту будівництва на основі техніко-економічного обґрунтування.

Верхній шар (як правило, кілька шарів) являє собою дорожнє покриття, яке впливає на транспортно-експлуатаційні властивості одягу.

Один або декілька нижніх шарів утворюють основу, призначення якої полягає в тому, щоб надати одягу міцність при дії статичних і динамічних навантажень, а також стійкість до впливу втомних і кліматичних факторів.

Традиційно дорожній одяг проектується таким чином, що найбільш щільний і міцний шар знаходиться на поверхні (верхній шар покриття), а найслабший і менш щільний – внизу. Така ситуація більшою мірою негативно позначається на довговічності багат шарового дорожнього покриття та всього одягу в цілому.

Проектування дорожнього одягу нежорсткого типу являє собою єдиний процес конструювання й розрахунку дорожньої конструкції (системи дорожній одяг плюс робочий шар земляного полотна) на міцність, з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів з метою вибору найбільш економічного за даних умов.

Задачі конструювання дорожнього одягу нежорсткого типу:

- вибір типу покриття;
- призначення кількості конструктивних шарів основи (додаткової основи);
- розміщення шарів у конструкції і попереднє призначення їх товщин;
- попередня оцінка необхідності призначення додаткових морозозахисних заходів з урахуванням дорожньо-кліматичної зони, типу ґрунту робочого шару земляного полотна та схеми зволоження робочого шару на різних ділянках;
- попередня оцінка необхідності призначення заходів для осушення конструкції, а також для підвищення тріщиностійкості конструкції;
- оцінка доцільності зміцнення чи поліпшення верхньої частини робочого шару земляного полотна;

При призначенні видів покриття і основ для різних варіантів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу слід враховувати положення чинних стандартів і норм на дорожньо-будівельні матеріали та вироби та норми проектування автомобільних доріг [7, 9, 13].

При виборі матеріалів для влаштування шарів дорожнього одягу нежорсткого типу необхідно враховувати такі положення:

- а) покриття і верхні шари основи повинні відповідати проектним навантаженням і бути водо-, морозо- і термостійкими;
- б) конструкція дорожнього одягу в місцях зупинок громадського транспорту, на регульованих перехрестях і в інших місцях зміни швидкості руху чи на затяжних спусках повинна забезпечувати підвищений опір зсуву при високих літніх температурах.

Матеріал покриття повинен забезпечувати необхідний коефіцієнт зчеплення і стійкість до виникнення деформацій при високих температурах повітря. При цьому слід враховувати характер руйнувань, що виникають на існуючих покриттях, а також вплив властивостей даного покриття на роботу конструкції після підсилення дорожнього одягу [7].

Конструювання дорожнього одягу полягає у виборі типу покриття, матеріалів для влаштування його шарів і розташування їх у такій послідовності, щоб більш міцні матеріали сприймали велике навантаження.

Даний підхід виправданий з точки зору врахування розподілу стискаючих напружень по глибині, а також обґрунтування товщини конструктивних шарів за умовою пружного прогину і максимальних розтягуючих напружень, величина яких знижується зі збільшенням загальної товщини шарів покриття. Не на останньому місці тут знаходяться і економічні показники дорожнього одягу. Водночас час згідно зі схемою розподілу зсувних та розтягуючих напружень відрізняється від схеми стиснення.

З урахуванням таких відмінностей, оптимальними можуть виявитися конструкції з екстремальним розподілом твердості шарів по глибині (рис. 1.1).

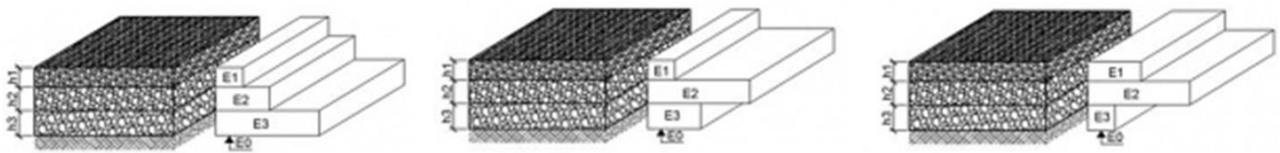


Рисунок 1.1 – Конструкції дорожніх покриттів з екстремальним розподілом твердості шарів по глибині

Відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559:2019 для забезпечення підвищеного опору зсуву конструкції дорожнього одягу, запроектованого під розрахункове навантаження згідно з ДБН В.2.3-4 груп А1, А2 та А3 (на ділянках зміни швидкості руху, а саме: гальмування або розгону) потрібно влаштовувати дорожнє покриття зі зсувостійких асфальтобетонів (асфальтобетони типу А); щебенево-мастикових асфальтобетонів; асфальтобетонів на основі нафтових дорожніх бітумів модифікованих полімерами.

Мінімально допустиму товщину конструктивних шарів дорожнього одягу потрібно призначати згідно з ДБН Б В.2.3-4. Разом з тим незалежно від результатів розрахунку на міцність дорожнього одягу товщину конструктивних

шарів в ущільненому стані необхідно призначати не менше мінімальної відповідно до таблиці Ж.1 (Додаток Ж ДБН Б В.2.3-4), враховуючи що товщина верхнього ущільненого шару асфальтобетону повинна бути не менше ніж два з половиною максимальних розміри зерна щебеню, що використовується в прийнятій конструкції.

За даними [12] Існує два види двошарового покриття ЩМА: горизонтальний і вертикальний. Горизонтальне двошарове покриття зі ЩМА розроблено з метою адаптації конструкції дорожнього покриття до різних умов навантаження по смугах руху. Вертикальне двошарове покриття зі ЩМА розроблено з метою підвищення опірності дорожнього одягу деформаціям і можливості адаптації дорожнього полотна до навантажень, що збільшилися, за рахунок реконструкції тільки верхніх шарів. Двошарове покриття зі ЩМА дозволяє одночасно підвищити несучу здатність дорожнього одягу й експлуатаційні властивості покриття за рахунок оптимізованого підходу до конструювання дорожнього полотна.

1.3.2 Існуючі методи розрахунку покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону дорожнього одягу нежорсткого типу

Задача розрахунку полягає в визначенні товщини шарів дорожнього одягу у варіантах, намічених при конструюванні, чи в виборі матеріалів з відповідними деформаційними характеристиками і характеристиками міцності шарів заданої товщини.

Розрахунок дорожнього одягу на міцність заснований на наступних передумовах:

а) напружено-деформований стан дорожнього одягу під дією навантаження описується рішеннями лінійної теорії пружності для шаруватого напівпростору з урахуванням умов сполучення шарів на контактах; сили інерції через їх малість у розрахунку не враховуються (задача квазістатична);

б) граничний стан дорожнього одягу характеризується показниками, які залежать від властивостей матеріалу кожного шару дорожнього одягу і

грунту земляного полотна, а також від їхнього розміщення й умов роботи в конструкції.

Відповідно до [7, 8] розрахунок дорожніх одягів засновано на трьох критеріях граничного стану – пружному прогині дорожнього одягу під навантаженням, опорі згину монолітних шарів і опорі зсуву ґрунтів і шарів з малозв'язних матеріалів.

Граничний прогин дорожнього одягу є комплексною характеристикою деформативної здатності дорожнього одягу і визначає відповідність необхідної монолітності та рівності покриття.

Опір згину монолітних шарів і опір зсуву ґрунтів і шарів з малозв'язних матеріалів є характеристиками міцності дорожнього одягу.

Для оцінки граничних станів необхідно вміти знаходити напруження.

Методи розрахунку конструкцій дорожніх і аеродромних одягів можуть успішно розвиватися на основі дослідження напружено-деформованого стану всіх шарів цих конструкцій.

Існуючі методи розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого типу на міцність та довговічність у США і країнах Західної Європи засновані на емпіричних залежностях між несучою здатністю ґрунту земляного полотна [70], в країнах СНД та в Україні на основі досліджень [70 - 74] існує метод МАДІ оснований на встановленні нормативного прогину під колесом розрахункового автомобіля, метод Ленінградської філії СоюздорНИИ оснований на показниках опору зсуву ґрунту земляного полотна і малозв'язних конструктивних шарів дорожнього одягу та граничному розтягуючому напруженні при згині в монолітних шарах, метод ХНАДУ де в якості основного розрахункового показника прийнятий розрахунковий прогин. Метод пов'язаний з підвищенням модуля пружності верхньої частини земляного полотна шляхом поліпшення водно-теплогового режиму, а також з підвищенням ступеня ущільнення ґрунту.

У наведених методах передбачено розрахунок шарів зі зв'язних матеріалів на розтяг при вигині. На основі цих підходів були розроблені відповідні методи конструювання і розрахунку нежорстких дорожніх одягів.

Розрахунок дорожнього одягу на міцність заснований на наступних передумовах:

а) напружено-деформований стан дорожнього одягу під дією навантаження описується рішеннями лінійної теорії пружності для шаруватого півпростору з урахуванням умов сполучення шарів на контактах; сили інерції через їх малість у розрахунку не враховуються;

б) граничний стан дорожнього одягу характеризується показниками, що залежать від властивостей матеріалу кожного шару дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, а також від їхнього розміщення й умов роботи в конструкції.

При розрахунку враховують колісне навантаження, характер руху транспортних засобів, характер виникнення напружень, фактори, зв'язані із кліматичними умовами та особливості роботи матеріалів в конструкції дорожніх одягів. Врахуванням всіх особливостей та оцінкою напружено-деформованого стану в різний час займалися багато вчених дорожньої галузі.

В розрахунковому відношенні дорожня (аеродромна) конструкція може бути прийнята за багат шаровий лінійно-деформований простір, на поверхні якого діє навантаження, симетрично розподілене по площі круга. Це дозволяє використовувати для дослідження напружено-деформованого стану таких конструкцій рішення осесиметричної задачі теорії пружності. Одним із перших рішення осесиметричної задачі про напружений стан пружного напівпростору запропонував М. Бусінеск. В 1885 р. В середині ХХ ст. розв'язання такої задачі запропонували К. Мергер, Д. Бурмістер, А. Джон, К.Є. Єгоров, О.Я. Шехтер, Р.М. Раппопорт, Б.І. Коган, Б.М. Корсунський [75].

Основоположниками досліджень у напрямку методу розрахунку дорожнього одягу як шаруватих пружних середовищ розробки були Н.Н. Іванов, А.К. Біруля, А. М. Кривіський, М.Б. Корсунський, А.Г. Булавко, П.І. Теляєв, Ю.М. Яковлев, а також Я.А. Калужський, В.І. Барадо, А.О. Салль, С.І. Міхович, Д.Е. Єрмакович [69, 73, 76 - 79].

Завдяки роботам вищенаведених авторів разом з Н.А. Пузаковим, А.Я. Тулаєвим, В.М. Сіденко, І.А. Золотарьом, М.Б. Корсунським, Л.Д. Россовським, що провели дослідженням водно-теплогового режиму був створений нормативний документ з проектування дорожнього одягу.

Застосування рішень теорії пружності з'явилося важливим кроком у розвитку механіки дорожнього одягу.

Розробкою основ теорії розрахунку дорожнього одягу, та розв'язанням задач з визначення напружень і деформацій займалися Б.І. Коган, А.М. Кривіський, А.К. Приварніков, Ю.А. Шевляков, А.К. Біруля, В.Є. Вереженко, В.Г. Піскунов, О.О. Рассказов, В.В. Плевако, В.І. Заворицький, А.В. Артеменко, А.Г. Булавко, К.С. Теренецький та ін. [76, 78, 80-84]. В основу методів визначенні напружено-деформованого стану покладені розрахункові схеми пружного ізотропного шаруватого напівпростору.

Рішення для шаруватого неоднорідного трансверсально-ізотропного напівпростору отримав А.Г. Булавко [85].

Аналіз особливостей поведінки дорожнього одягу та врахуванням в'язких властивостей матеріалів займалися такі вчені: А.А. Іноземцев, М.Б. Корсунський, В.В. Мозговий, А.П. Сініцин, Г.І. Глушков, О.Т. Батраков, С.І. Міхович, О.М. Титаренко, М.І. Волков, Л.Б. Гезенцвей, В.О. Золотарьов, А.В. Руденський, А.М. Богуславський, Е.Я. Щербакова, Г.К. Сюньї, А.О. Салль, та ін. [40, 44, 79, 86 - 113].

Авторами [114-121] досліджено зміну міцнісних і деформаційних властивостей характеристик матеріалу в залежності від температури на довговічність та на характер напружено-деформованого стану від зміни температури.

Б.С. Радовським у своїх роботах [84] отримано аналітичні рішення для розв'язку змішаної задачі теорії пружності і дискретного розподілення напружень, визначено напруження та деформації тришарової комбінованої конструкції в умовах плоскої задачі та в умовах осесиметричної просторової задачі, вивчено вплив швидкості руху автомобіля на напруження в ґрунті

земляного полотна, отримана залежність для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень i -го шару багатошарового в'язкопружного напівпростору.

В подальших дослідженнях Б.С. Радовського, А.С. Супруна, В.В. Мозгового та інших дослідників [40, 113, 122] була показана можливість застосування методу квазіпружної апроксимації, що дозволяє використовувати відомі рішення теорії пружності, наприклад, точне рішення А.К. Приварникова для шаруватого пружного напівпростору.

У квазіпружному методі в'язкопружне рішення (тобто перехідна провідність) виходить із пружного рішення заміною всіх пружних характеристик матеріалу відповідними функціями релаксації та функціями повзучості. При цьому доцільно користуватися взаємозв'язком між функцією повзучості та релаксації, отриманим як на основі точного рішення. Ґрунтуючись на математичних аспектах цього методу, а також на результатах, отриманих Шепері [23] при його застосуванні, можна вважати, що в більшості випадків точність методу цілком задовольняє звичайним інженерним вимогам.

Так в деяких дослідженнях [52, 53] використовуючи точне рішення А.К. Приварникова, було досліджено напружено-деформований стан багатошарового напівпростору, були знайдені та апроксимовані функції для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень на основі та на поверхні асфальтобетонного шару.

У роботах [32, 52, 53] отримали подальший розвиток дослідження напружено-деформованого стану. Також значну увагу приділено дослідження напружено-деформованого стану ґрунтових масивів [61].

На основі проведених досліджень був створений потужний розрахунковий апарат, що дає можливість розраховувати напружено-деформований стан шаруватих систем, до яких відноситься і дорожній одяг. Однак незважаючи на широкомасштабні дослідження в даному напрямку до цього часу не розроблено, як методу, так і жодного нормативного документа

стосовно розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

У зв'язку з викладеним моделюванням НДС вимагає уточнення методів визначення споживчих і розрахункових властивостей матеріалів дорожніх одягів.

Наукові дослідження в галузі проектування дорожніх одягів нежорсткого типу в останні п'ятдесят років спрямовані на перехід від емпіричних підходів до більш потужної і адаптивної схеми проектування, а саме до механіко-емпіричного методу (MEM), що враховує механічні властивості покриття, інформацію про кількість рухомих навантажень, кліматичні дані, роботу покриття в процесі експлуатації та інші умови, що змінюються. Співвідношення між цими величинами описуються за допомогою математичних моделей. Також слід зазначити, що в останні роки у багатьох дослідженнях значна увага приділена застосуванню методу скінченних елементів з використанням сучасних програмних комплексів. У сучасних дослідженнях приділяють велику увагу врахуванню термо-реологічних властивостей асфальтобетону, що дозволяє точніше прогнозувати довговічність покриття, прогнозувати колійність та ін. [3, 4, 25, 40 - 42, 58 - 59, 124, 125].

1.4 Існуючі підходи до підвищення довговічності покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону

Проблема довговічності асфальтобетонних покриттів носить комплексний характер, що включає вплив різних чинників структури асфальтобетону, його витривалості при дії знакозмінної розтягуючої та стискаючої напруги від рухомого транспорту і температурних перепадів навколишнього середовища.

За результатами спостереження експлуатаційного стану дорожнього покриття та об'ємів пошкоджень і руйнувань можна зробити наступні висновки:

1) дорожнє покриття має незначний термін служби до появи ушкоджень та руйнувань;

2) основні види ушкоджень на дорожньому покритті з'являються через сполучення наступних причин. Вони в свою чергу поділяються на:

- матеріалознавчі (недостатні деформативність, витривалість і втома асфальтобетону);
- конструктивні (не раціональні конструкції дорожнього одягу; недостатня міцність шарів під асфальтобетонним покриттям);

3) види й обсяги ушкоджень на дорожньому покритті залежать від складу та інтенсивності руху, а також швидкості руху окремих важких автомобілів;

4) ряд ремонтних заходів і робіт, що виконувалися, є недостатньо ефективними.

Згідно з вітчизняними нормами і правилами проектування конструкцій дорожнього одягу [7, 18, 70] головною умовою забезпечення довговічності будь-якого покриття дорожнього одягу автомобільних доріг, у тому числі щебенево-мастикового, є наявність достатньо жорстких і міцних основи та додаткової основи.

Основа повинна забезпечувати зменшення розтягуючих напружень у покритті, що виникають при згині від дії транспортного навантаження, а також мати достатню жорсткість, щоб зменшити напруження та деформації в додатковій основі та ґрунті земляного полотна до допустимих значень. Основа повинна мати міцність, необхідну для виконання цих функцій протягом усього терміну служби дорожнього одягу.

Додаткова основа повинна сприяти зменшенню розтягуючих напружень при згині покриття від дії транспорту, а також напружень і деформацій в основі і ґрунті земляного полотна. Крім того, вона повинна виконувати (за необхідністю) функції: акумуляція і дренаж зайвої води; морозозахист та теплоізоляція; розподілення шарів проти взаємного проникнення матеріалів та інше.

Вище вказані вимоги до конструктивних елементів основи є необхідними, але не достатніми для забезпечення довговічності щебенево-мастикового покриття. Остаточно довговічність покриття буде визначатись його здатністю зберігати необхідні якості до появи граничного стану в умовах експлуатації при дії транспортного і кліматичного факторів з урахуванням фактичних термомеханічних характеристик ЩМА. Можна вважати, що граничний стан покриття із ЩМА настає у вигляді трьох видів руйнувань і деформацій:

- викришування (корозія при водоморозному впливі);
- порушення форми з появою нерівностей (зсуви, хвилі, напливи, колійність за рахунок недостатньої зсувостійкості при високих температурах);
- порушення суцільності матеріалу при розтріскуванні (поперечні, подовжні тріщини, сітка тріщин).

Довговічність за першими двома видами руйнувань і деформацій повинна регламентуватись нормативно-технічними документами на ЩМА для конкретних регіональних умов на основі емпірично встановлених закономірностей між показниками фізико-механічних властивостей і їх довговічністю. А довговічність щебенево-мастикового покриття за тріщиностійкістю повинна регламентуватись відповідною методикою, що забезпечуватиме виконання розрахунку його на тріщиностійкість.

Для повнішої оцінки довговічності покриття стосовно розтріскування доцільно враховувати дію наступних факторів:

- розтягуючі напруження, що виникають при згині асфальтобетонних шарів дорожнього одягу від дії транспорту;
- невільне скорочення розмірів при охолодженні;
- розтяг над швами чи тріщинами тріщинувано-блочних основ при їх температурному деформуванні;
- неоднакова зміна розмірів складових асфальтобетону при зміні температури внаслідок різниці їх коефіцієнтів температурного деформування;
- льодоутворення при замерзанні води в порах асфальтобетону;

- розклинююча дія води в капілярних порах;
- усадка при висиханні або виморожуванні вологи;
- усадка при “старінні” асфальтобетону.

Для підвищення довговічності дорожніх асфальтобетонних покриттів потрібно враховувати дію таких факторів, як: підвищення капітальності дорожніх одягів; кліматичні фактори; інтенсивність дорожнього руху; навантаження на вісь транспортних засобів; склад і структура бітуму; використання техногенної сировини; застосування більш ефективних антиожеледних реагентів; використання багатокомпонентних асфальтобетонних сумішей; сучасна технологія виконання дорожньо-будівельних робіт; дорожньо-будівельні машини і механізми нового покоління.

Підвищення надійності та довговічності асфальтобетонних покриттів обумовлюється направленим регулюванням технологічних властивостей асфальтобетонних сумішей, при якому досягається оптимальна, щільна «упаковка» мінеральних частинок [18]. Асфальтобетон повинен володіти необхідною тріщиностійкістю взимку і теплостійкістю при підвищених літніх температурах. Проте складові асфальтобетону не задовольняють необхідним вимогам, оскільки температурний інтервал працездатності бітумів майже цілком знаходиться в області позитивних температур.

Підвищення ефективності влаштування асфальтобетонних покриттів, забезпечення їх високими транспортно-експлуатаційними показниками, продовження термінів їх служби є важливим техніко-економічним завданням, оскільки стан асфальтобетонних покриттів виконує істотний вплив на ефективність роботи автомобільного транспорту і на надійність функціонування дорожньої мережі.

Використання полімерних матеріалів для підвищення довговічності асфальтобетону

Проблема застосування традиційного дорожнього бітуму для влаштування асфальтобетонного покриття, перш за все, пов'язана з гіршими показниками фізико-механічних властивостей, як бітуму, так і асфальтобетону,

що впливають на довговічність дорожніх покриттів в порівнянні з бітумами і асфальтобетоном, у складі яких використовують модифікуючі добавки, що покращують їх властивості.

Одним з ефективних способів покращення якості асфальтобетону (або бітуму) є його модифікація різними полімерними матеріалами.

Як модифікатори бітуму в останній час знайшли застосування наступні полімери: термопласти, еластомери, термoeластопласти, термореактивні смоли [126]. Застосування еластомерів дає можливість збільшити в'язкість, але не призводить до істотного підвищення еластичності. Термoeластопласти мають важливі переваги: при температурах понад 80 °С, характерних для приготування та ущільнення асфальтобетонної суміші, вони поведуться подібно термошарам, тобто знаходяться у в'язко-текучому стані, а при температурі від -30 °С до 60 °С – як еластомери [126].

Як показали результати досліджень, важливе місце для досягнення найбільшого ефекту при модифікації в'язучого полімерами відіграє склад базового бітуму [127].

Дослідниками [42, 128 - 133] проведені широкі дослідження полімерів різних класів для оцінки можливості їх застосування в умовах України. В цих роботах перевірена можливість підвищення показників міцності та довговічності асфальтобетону при застосуванні полімерів, розглянуто вплив конструктивно-матеріалознавчо-технологічного фактора на довговічність асфальтобетонних шарів при використанні полімерів, з'ясовано особливості впливу полімеру на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів, зокрема показано, що застосування щебенево-мастикового асфальтобетону на полімербітумному в'язучому дозволяє суттєво збільшити кількість прикладань навантажень до руйнування в порівнянні з іншими типами асфальтобетону, а також що можна досягти підвищення довговічності.

1.5 Короткі висновки

Розглянуто стан питання проектування нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА, встановлено основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформівного тіла розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового на півпростору та розроблено інженерні методики розрахунків, розроблено критерії граничного стану. Показано історію появи ЩМА, яка свідчить про те, що отримані результати ґрунтуються, головним чином, на емпіричних підходах. Проаналізовано опис різними дослідниками умов роботи ЩМА в дорожньому покритті, розглянуто особливості технології виготовлення ЩМА, проектування складу ЩМА та технологію влаштування покриття із ЩМА, наведено методи оцінки граничного стану покриття із ЩМА. Відмічено, що застосування ЩМА у вітчизняній практиці досить часто характеризується не достатньою довговічністю покриття порівнюючи із зарубіжним досвідом.

Виконаний літературний огляд свідчить, що у результатах відомих досліджень не достатньо відображено особливості вітчизняних умов застосування ЩМА, а також неповно ураховується комплексний вплив факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, коливання температури, та ін.) на довговічність дорожнього покриття із ЩМА.

Були вивчені літературні джерела щодо коливань кузова сучасних транспортних засобів, коли вони рухаються автомобільними дорогами загального користування, а саме амплітудно-частотні характеристики під час транспортування ЩМАС.

Відмічено, що застосування ЩМА у вітчизняній практиці досить часто характеризується не достатньою довговічністю покриття порівнюючи із зарубіжним досвідом. На основі літературних даних також слідує, що існуючий вітчизняний нормативний метод проектування дорожніх одягів не достатньо

повно враховує спільну дію транспортних засобів та коливання температури, а також дію інших впливових факторів на довговічність покриття.

Таким чином виконаний аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття свідчить що існуючі нормативні документи не відображають дії основних впливових факторів на довговічність покриття, а також його термореологічні характеристики.

Аналіз існуючих підходів, що враховують термов'язкопружні характеристики свідчить, що вони не достатньо відображають основні особливості роботи ЩМА в покритті.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЩЕБЕНЕВО- МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

2.1 Аналіз чинників, що впливають на довговічність покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону

Загально відомо, що одним з факторів забезпечення міцності і довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу є його повне зчеплення з шарами основи протягом всього терміну служби для забезпечення їх спільної роботи [8, 70, 75]. 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 вітчизняних і зарубіжних нормативних документів [8, 9].

У дослідженнях прийнята робоча гіпотеза, яка полягає у наступному.

Довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого (окислення, полімеризація, поліконденсація, випаровування та інфільтрація легких фракцій в'язучого в мікропори і мікротріщини мінерального матеріалу), водоморозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. При цьому допускається, що стійкість до розшарування асфальтобетонної суміші буде забезпечена при дотриманні вимог до рецептурно-технологічних параметрів чинних нормативних документів та додаткових вимог, розроблених на основі цих дисертаційних досліджень. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

2.2 Метод оцінки граничного стану покриття із ЩМА

Аналітичні залежності для розрахунку довговічності ЩМА покриття були отримані з урахуванням характеристик основи, кліматичних факторів, умов роботи покриття та параметрів режиму руху транспортних засобів.

Для оцінки довговічності ЩМА шарів за тріщиностійкістю необхідно отримати аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати напруження від дії транспортних засобів та температурні напруження в покритті при коливанні температур в добовому та річному циклах. Крім того, оцінка довговічності повинна базуватися на умові граничного стану, що прогнозує утворення тріщин в покритті при дії напружень від транспорту та температурних напружень.

З метою вирішення цих задач в даному розділі розглядаються основні розрахункові схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного шару нежорсткого дорожнього одягу при коливанні температури та дії транспорту, клавійного ефекту і встановлюються аналітичні залежності для прогнозу напружень і оцінки довговічності щебенево-мастикових асфальтобетонних шарів. При цьому в детермінованій постановці використовується феноменологічний підхід, а щебенево-мастиковий асфальтобетонний шар розглядається як ізотропний матеріал.

З урахуванням термо-реологічних властивостей ЩМА, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів, було розроблено критерій граничного стану покриття із ЩМА, який має вигляд:

$$M = M_{Tp} + M_{yT} + M_{yC} + M(N_{BMP3}) \leq 1, \quad (2.1)$$

де M_{Tp} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту;

M_{UT} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки;

M_{UC} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого;

$M(N_{BMP3})$ – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водоморозних впливів.

У даному випадку під пошкодженістю ЩМА, згідно існуючих загальних положень, приймається формальне кінетичне поняття незворотних розривів структурних зв'язків у матеріалі за часом при визначеному характері впливу факторів і оцінюється відносним параметром, який називають мірою пошкодженості, що за фізичною суттю є мірою вичерпування довговічності.

Дослідження довговічності ЩМА покриття проводили з урахуванням дії найбільш впливових факторів, що спричиняють появу розтягуючих напружень та їх розтріскування, а саме: горизонтальні нормальні напруження при дії транспортного навантаження та коливанні температури.

На щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття діє колісне навантаження, яке викликає поверхневі розтягуючі напруження, які разом з температурними напруженнями створюють загальний напружений стан.

Визначення напружень в шаруватому в'язкопружному напівпросторі при русі транспортних засобів для оцінки тріщиностійкості ЩМА є одним з основних факторів для оцінки його довговічності. Одним із перших, хто повністю вирішив задачу визначення тензора напружень шаруватого в'язкопружного напівпростору, був проф. Б.С. Радовський. Він розглянув задачу визначення напружень і переміщень в нежорсткому дорожньому одязі, як у шаруватому в'язкопружному безінерційному напівпросторі з довільним кінцевим числом ізотропних та однорідних шарів [44, 84].

В результаті були отримані залежності для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень i -го шару багатошарового в'язкопружного безінерційного напівпростору. Однак використання отриманих аналітичних залежностей для визначення розтягуючих нормальних напружень є досить

проблематичним, зважаючи на велику громіздкість формули, і виключає можливість широкого використання її для інженерних розрахунків. Тому було запропоновано використання квазіпружного методу апроксимації при застосуванні точного рішення пружного напівпростору. В цьому випадку в'язкопружне рішення виходить із пружного рішення заміною всіх пружних характеристик матеріалу відповідними функціями релаксації та функціями повзучості. При цьому доцільно користуватися взаємозв'язком між функцією повзучості та релаксації, отриманим на основі точного рішення.

Грунтуючись на математичних аспектах цього методу, а також на результатах, отриманих Шепері і Сімсом при його застосуванні, можна вважати, що у більшості випадків точність методу цілком задовольняє інженерним вимогам.

У виразі (2.1) міру вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту (з урахуванням загальновідомого підходу при циклічній дії напружень) визначалася за виразом 2.2.

$$M_{TP} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} + 2 \cdot \frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} \right), \quad (2.2)$$

де $\sum N_p(t, \sigma)$ – сумарна інтенсивність прикладання розрахункового навантаження в i -тий період року, на момент часу експлуатації t при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n ;

$[N_p(t, \sigma)]$ – гранично допустима кількість прикладання розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття в i -тий період року при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого

горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n (встановлюються на основі експериментальних даних);

m – кількість характерних i -тих періодів року з близькими кліматичними умовами.

При виборі розрахункової схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного шару нежорсткого дорожнього одягу з точки зору його тріщиностійкості виходили з найбільш несприятливих для нього умов появи горизонтальних нормальних розтягуючих температурних напружень при зміні температури та від впливу дії транспортних напружень і клявішного ефекту, які виникають у верхній і нижній частині шару.

Також, брали до уваги дані багатьох дослідників про те, що основною причиною утворення температурних тріщин в асфальтобетонному покритті є напруження від дії транспорту та температурні розтягуючі напруження, що виникають в результаті невірного скорочення розмірів покриття при його охолодженні.

Розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у верхній частині покриття σ_n визначаються на основі аналітичних розрахунків з урахуванням схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження згідно рисунку 2.1.

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки (M_{yT}) може бути визначена за аналітичними залежностями Радовського-Мозгового, що базуються на застосуванні критерію Бейлі, модифікованої функції довговічності Бартенєва [40]:

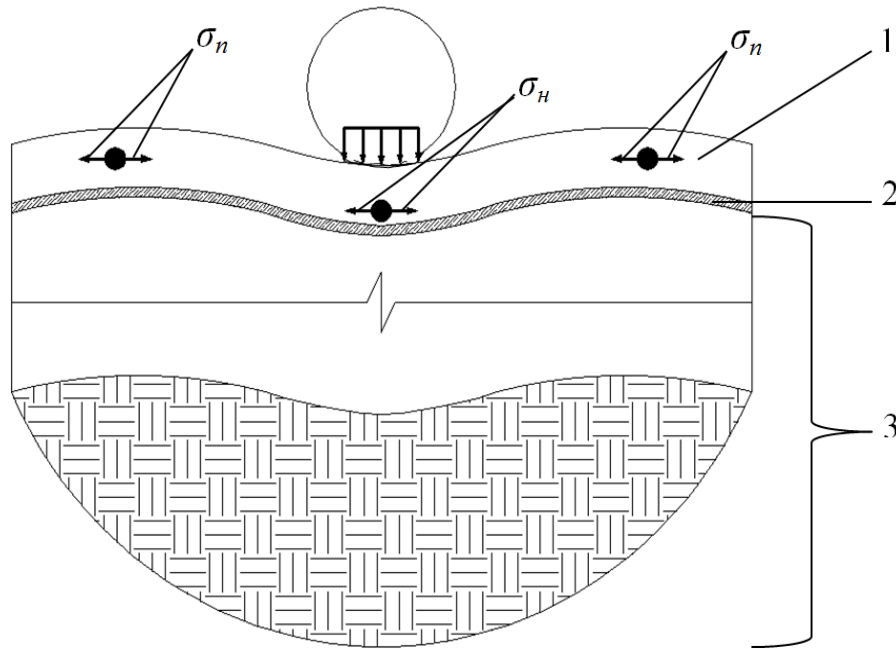
$$M_{yT} = \int_0^t \frac{dt}{t^* (\sigma_T(t), T(t))}, \quad (2.3)$$

де t – момент часу експлуатації покриття;

$t^*(\sigma_T(t), T(t))$ – функція довговічності ЩМА;

$\sigma_T(t)$ – тепературні напруження;

$T(t)$ – температура покриття.



1 – щєбєнево-мастикєво-асфальтобетонне покриття; 2 – прошарок, що з'єднує щєбєнево-мастикєво-асфальтобетонне покриття з нижніми шарами;

3 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна.

Рисунок 2.1 – Схема роботи щєбєнево-мастикєвого асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження

При визначені температурних напружень були використані основні положення теорії термо-в'язко-пружності на базі вихідних співвідношень Больцмана-Вольтера, що зв'язують між собою напруження, деформацію, час і температуру на основі методології, розробленої в НТУ [40, 122]:

$$\sigma_T(t) = \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) d\varepsilon_T(\tau), \quad (2.4)$$

$$\xi(t) = \int_0^t [a_T(T(t), Q)]^{-1} dt, \quad (2.5)$$

де: $\varepsilon_T(\tau) = (\varepsilon_T^1(\tau) + \varepsilon_T^2(\tau) + \varepsilon_y^1(\tau) + \varepsilon_y^2(\tau))$ – відносна деформація; R – функція релаксації; t – момент часу, для якого визначається напруження; τ – момент часу, що передує t ; ξ – час, наведений на підставі температурно-часової аналогії (ТВА) до тієї температури Q , при якій експериментально встановлюються параметри функції релаксації $R(t)$; a_T – функція ТВА; ε_T^1 – нереалізована температурна деформація покриття; ε_T^2 – деформація покриття, викликана температурними змінами довжини плит тріщинувато-блочної основи; ε_y^1 – нереалізована деформація покриття при його тривалій незворотній усадці; ε_y^2 – деформація покриття, викликана тривалою незворотною усадкою плит тріщинувато-блочної основи.

Асфальтобетонне покриття розглядалось як горизонтальний суцільний шар товщиною h , розташований на квазісуцільній основі, а матеріал покриття володіє в'язкопружними властивостями і є термореологічно простим тілом.

Визначальний зв'язок між поздовжніми напруженнями σ_T і деформаціями ε_T покриття як в'язкопружного термореологічно простого матеріалу описувався відомим в теорії термов'язкопружності [40, 44] інтегральним співвідношенням Больцмана-Вольтерра:

$$\sigma_T(t) = \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) d\varepsilon_T(\tau), \quad (2.6)$$

де R – функція релаксації; t – момент часу, для якого визначається напруження; τ – момент часу, що передує t ; $\xi(t)$ і $\xi(\tau)$ – наведений час відповідно для моментів t і τ , яке відповідно до принципу температурно-часової аналогії визначається виразом:

$$\xi(t) = \int_0^t \frac{dt}{a_T(T(t), Q)}, \quad \xi(\tau) = \int_0^\tau \frac{d\tau}{a_T(T(\tau), Q)}, \quad (2.7)$$

де $a(T, Q)$ – функція температурно-часового зсуву, що показує у скільки разів "прискорюється" хід часу для деформування при постійній базовій температурі Q в порівнянні з деформацією при постійній температурі T (якщо $Q > T$).

Завдання полягає у визначенні поздовжнього горизонтального нормального напруження $\sigma_T(t)$ в покритті в будь-який момент часу при різних закономірностях зміни його температури $T(t)$ з властивостями матеріалу покриття, що характеризується функцією релаксації $R(t)$.

Відповідно до закону температурного деформування зміни середньої по товщині покриття температурі T від її початкового значення $T(\tau = 0)$ до значення $T(\tau)$ в певний момент τ відповідає нереалізована відносна деформація:

$$\varepsilon_T(\tau) = \alpha [T(\tau = 0) - T(\tau)], \quad (2.8)$$

що відповідає напруженню, яке визначається рівністю (2.6). Після диференціювання обох частин рівності (2.8) по τ і підстановки результатів в (2.6) можна записати для довільної безперервної закономірності температури $T(t)$ вираз для температурного напруження в момент t :

$$\sigma_T(t) = -\alpha \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) \frac{dT(\tau)}{d\tau} d\tau, \quad (2.9)$$

причому розтягуюче напруження вважаємо позитивним.

На прикладі лінійної зміни температури в часі при її зниженні зі швидкістю K після перетворень вираз для температурних напружень при поданні $R(t)$ в формі модифікованого степеневому закону матиме вигляд:

$$\sigma_T = -\alpha H K t - \alpha K (B - H) \int_0^t \frac{d\tau}{[1 + \psi(t) - \psi(\tau)]^m}, \quad (2.10)$$

$$\text{де:} \quad \psi(t) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + Kt)}, \quad \psi(\tau) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + K\tau)};$$

У цих формулах: r , m , B і H – параметри функції релаксації в формі модифікованого степеневому закону, причому останні два з них мають сенс відповідно миттєвого і тривалого модулів пружності.

При дослідженні довговічності асфальтобетонного покриття одним із впливових факторів ряд дослідників вважають негативний вплив від усадки «старіння» бітумного в'язучого. Так Літтлефілд [134], вивчаючи температурні деформації асфальтобетонів при циклічному охолодженні – нагріванні виявив значну їх усадку, яку він пояснив випаровуванням легких фракцій з бітуму. Ю. Є. Нікольський також показав [135], що при циклічній зміні температури в асфальтобетоні проявляються залишкові деформації. Накопичення залишкових деформацій при низьких температурах Ю.Н. Нікольський і А.М. Большухін [136] пояснюють доущільненням асфальтобетону при охолодженні.

Усадка в асфальтобетонах, пов'язана з формуванням у бітумах надмолекулярних структур, викликає в покриттях, які не мають можливості вільно переміщатися, усадочні напруження. Так, при випробуванні в установці «УОНДА-1420» защемленого по кінцях зразка асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90 при його термоциклюванні в інтервалі температур від 5 до -20 °С було виявлено виникнення зростаючих усадочних напружень [134, 136].

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого (M_{yc}) виразу (2.1) встановлюється за наступною розробленою методикою.

Напруження від усадки «старіння» бітумного в'язучого (M_{yc}) на момент часу експлуатації покриття t визначалися за виразом 2.11:

$$\sigma_{yc}(t) = \int_0^t R(t' - \tau') d\varepsilon_{yc}(t), \quad (2.11)$$

де $R(t' - \tau')$ – функція релаксації ЩМА;

(t', τ') – відповідно приведений (згідно з принципом температурно-часової аналогії) час спостереження та час, який передує моменту спостереження;

$\varepsilon_{yc}(t)$ – відносна деформація ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого у часі, що встановлюється на основі експериментальних даних.

Лабораторні дослідження, проведені в БашНДІ НП [137, 138] дозволили встановити математичну залежність для розрахунку лінійної усадки асфальтобетону, яку запропоновано інтерпретувати у вигляді:

$$\varepsilon_{yc}(t) = \kappa \log_2(t+1) - 0,003 (t - 9)^3 + 0,0243, \quad (2.12)$$

де $\varepsilon_{yc}(t)$ – лінійна усадка асфальтобетону, %;

t – число циклів охолодження – нагрівання;

κ – коефіцієнт, що залежить від температурного інтервалу (встановлюється експериментально).

З урахуванням виразу (2.3) та зміни у часі температури покриття $T(t)$ визначається міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого:

$$M_{yc} = \int_0^t \frac{dt}{t^*(\sigma_c(t), T(t))}, \quad (2.13)$$

де $t^*(\sigma_c(t), T(t))$ – функція довговічності ЩМА.

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водоморозних впливів M_{BMP3} виразу (2.1) визначається за розробленою методикою, суть якої полягає у наступному.

На основі експериментально встановленої залежності міцності на розтяг ЩМА від кількості циклів водоморозних впливів $R_p = f(N_{BMP3})$ згідно з принципом лінійного підсумовування міри вичерпування довговічності значення $M(N_{BMP3})$ встановлюється за наступною залежністю:

$$M(N_{BMP3}) = 1 - M(\sigma(t)), \quad (2.14)$$

де $M(\sigma(t))$ – міра вичерпування довговічності ЩМА в експерименті при встановленні $R_p = f(N_{BMP3})$ для заданого режиму зміни розтягуючих напружень $\sigma(t)$.

2.3 Дослідження температурного режиму покриття із ЩМА

Відомі результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать [40, 52 - 54], що на температурний режим покриття впливають зміна температури в річному циклі коливань та зміна температури у добовому циклі коливань. Це дозволяє записати вираз для розрахунку середньої зміни температури покриття у вигляді двох гармонік:

$$\bar{T}(t) = T_{аб,ср} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_p} t + \bar{A}_o(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_o} t, \quad (2.15)$$

де $T_{аб, ср}$ – середня температура покриття шару зносу;

$\bar{A}_p$ – середня по товщині амплітуда коливань температури покриття в річному циклі;

t_p – період коливань середньої по товщині температури покриття в річному циклі;

$\bar{A}_\delta$ – середня по товщині амплітуда коливань температури покриття в добовому циклі;

t_δ – період коливань середньої по товщині температури покриття в добовому циклі.

Для встановлення середньої по товщині температури виразу (2.15) скористаємося відомими підходами. Тоді амплітуду річних, і добових коливань ($\bar{A}_p$ і $\bar{A}_\delta$) середньої по товщині температури покриття можемо наближено вважати такою, що дорівнює середньому по товщині значенню амплітуди коливань температури на різних товщинах.

$$\bar{A} = \frac{1}{h} \int_0^h A(z) dz = \frac{A(z=0)}{h \sqrt{\pi / t_i \cdot a}} \cdot \left(1 - e^{-h \sqrt{\pi / t_i \cdot a}} \right), \quad (2.16)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності покриття;

t_i – період коливання температури.

2.4 Короткі висновки

1. Наведено теоретичні аспекти дослідження довговічності нежорсткого покриття із ЩМА.

2. Прийнята робоча гіпотеза: довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне

навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого, водоморозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

3. Розроблено критерій граничного стану покриття із ЩМА, який враховує термо-реологічні властивості ЩМА, із застосуванням положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базується на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРИТТЯ ІЗ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Дані результати експериментальних досліджень розповсюджуються на асфальтобетонні шари покриття із щебенево-мастикових сумішей.

Результати експериментальних досліджень можна використовувати при проектуванні асфальтобетонних шарів покриття із щебенево-мастикових сумішей і контролі їх якості, шляхом випробування лабораторних зразків. Також в даному розділі наведені методики, що дозволяють встановити фізичні, деформаційні та міцнісні характеристики матеріалів шарів покриття із щебенево-мастикових сумішей, що є складовою методу проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону.

3.1 Дослідження впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЦМА

3.1.1 Лабораторні дослідження розширування ЦМАС

3.1.1.1 Проведення досліджень та встановлення залежності між вмістом стабілізуючої добавки, часом зберігання та показником розширування ЦМАС

Показник стікання в'язучого визначають згідно Додатку В ДСТУ Б В.2.7-127.

Результати визначення показника стікання в'язучого

Для приготування щебенево-мастикової суміші використовували матеріали, що були відібрані на заводі ПАТ „Асфальтобетонний завод”: щебінь фракції 5-10 Малинського КДЗ, гранітний відсів Малинського КДЗ, мінеральний порошок Підвисоцького КДЗ та бітум Мозирського НПЗ.

Використовували рецепти ЦМАС наведені в табл. 3.1.

Результати визначення показника стікання наведені в табл. 3.2. та на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Рецепти ЩМАС

Номер суміші Склад суміші	ЩМАС 1	ЩМАС 2	ЩМАС 3	ЩМА С 4	ЩМАС 5	ЩМАС 6	ЩМАС 7	ЩМАС 8	ЩМАС 9
Щебінь фр. 5-10, %	69,7	69,1	68,5	69,7	69,1	68,5	69,7	69,1	68,5
Відсів, %	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Мін. порошок, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
ТОРСЕЛ, %	0,3	0,9	1,5	0,3	0,9	1,5	0,3	0,9	1,5
Бітум, %	6,5	6,5	6,5	7,0	7,0	7,0	7,5	7,5	7,5

Таблиця 3.2 – Результати визначення показника стікання ЩМА

Номер суміші	ЩМАС 1	ЩМАС 2	ЩМАС 3	ЩМАС 4	ЩМАС 5	ЩМАС 6	ЩМАС 7	ЩМАС 8	ЩМАС 9
Ступінь розшарування, %	0,158	0,039	0,034	0,511	0,075	0,059	0,625	0,074	0,034

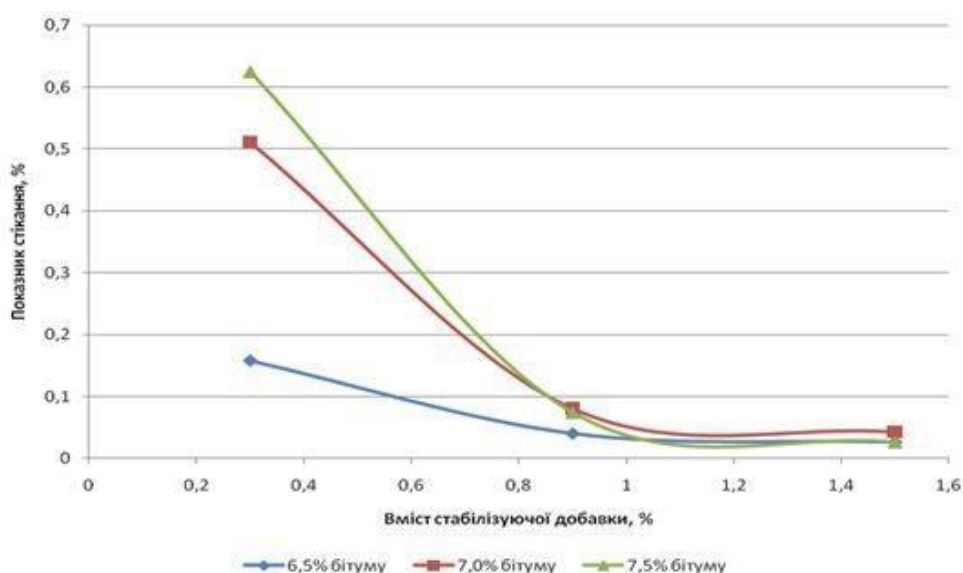


Рисунок 3.1 – Результати визначення показника стікання ЩМА в залежності від вмісту бітуму та вмісту стабілізуючої добавки

Як видно з рис. 3.1 показники стікання ЩМАС різко зменшуються при вмісті стабілізуючих добавок більше ніж 0,9%, Такі результати підтверджують результати зарубіжних дослідників [139, 140].

Для оцінки впливу температури кількості волокон і часу витримання при постійній температурі випробування проводили з використанням ЩМАС-10, використовували в'язуче БНД 60/90, в якості стабілізуючих добавок застосовували целюлозні волокна ТОРСЕЛ. Рецепт ЩМАС-10 наведений в табл. 3.3.

Показник стікання визначали в залежності від часу витримування суміші (час витримування складав 0,5; 1; 1,5 та 2 години), в залежності від вмісту волокон (вміст волокон становив 0,25, 0,3 і 0,35 %) та в залежності від температури (температура випробувань становила 150, 160 та 170° С). Дані по результатах випробувань наведені на рис. 3.2 – 3.3 та в (Додатку А).

Таблиця 3.3 – Рецепт ЦМАС-10

Розмір отвору сита	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Менше 0,071
%	0	65	11	4	4	2	3	1	10
Вміст стабілізуючої добавки TOPCEL	0,35; 0,3; 0,25								
Вміст в'язучого, %	6.5								

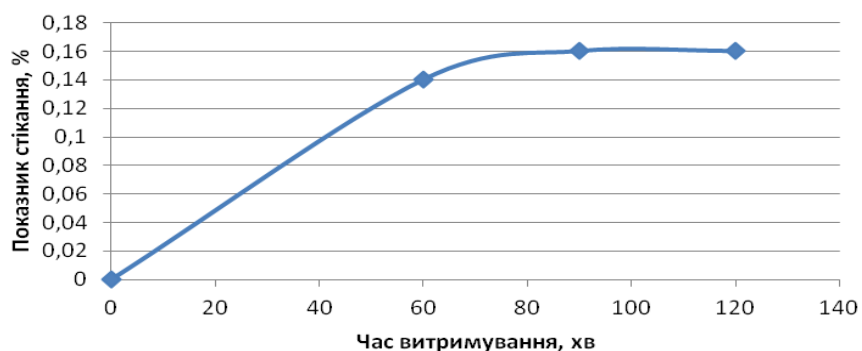


Рисунок 3.2 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,3% при температурі 170° С в залежності від часу витримування

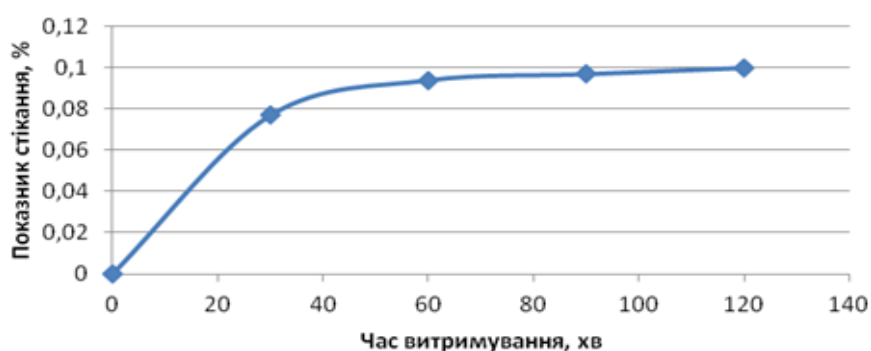


Рисунок 3.3 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,3% при температурі 160° С в залежності від часу витримування

Як видно з рис. 3.2 – 3.3 показник стікання ЦМАС суттєво залежить від температури та вмісту волокон, аналізуючи дані результати можна зробити

висновок, що основна маса бітуму витікає за 30-60 хв випробування, а потім швидкість зміни показника стікання від часу суттєво зменшується.

Крім того, випробування на розшарування ЦМАС в залежності від складу, температури та часу витримування проводили також на інших складах різної гранулометрії (ЦМАС 10 так і для ЦМАС-20), в тому числі з використанням різних полімерів та енергозберігаючих. Результати випробувань наведені на рис. 3.4. Отримані дані свідчать про подібність закономірностей зміни показника стікання від часу витримування.

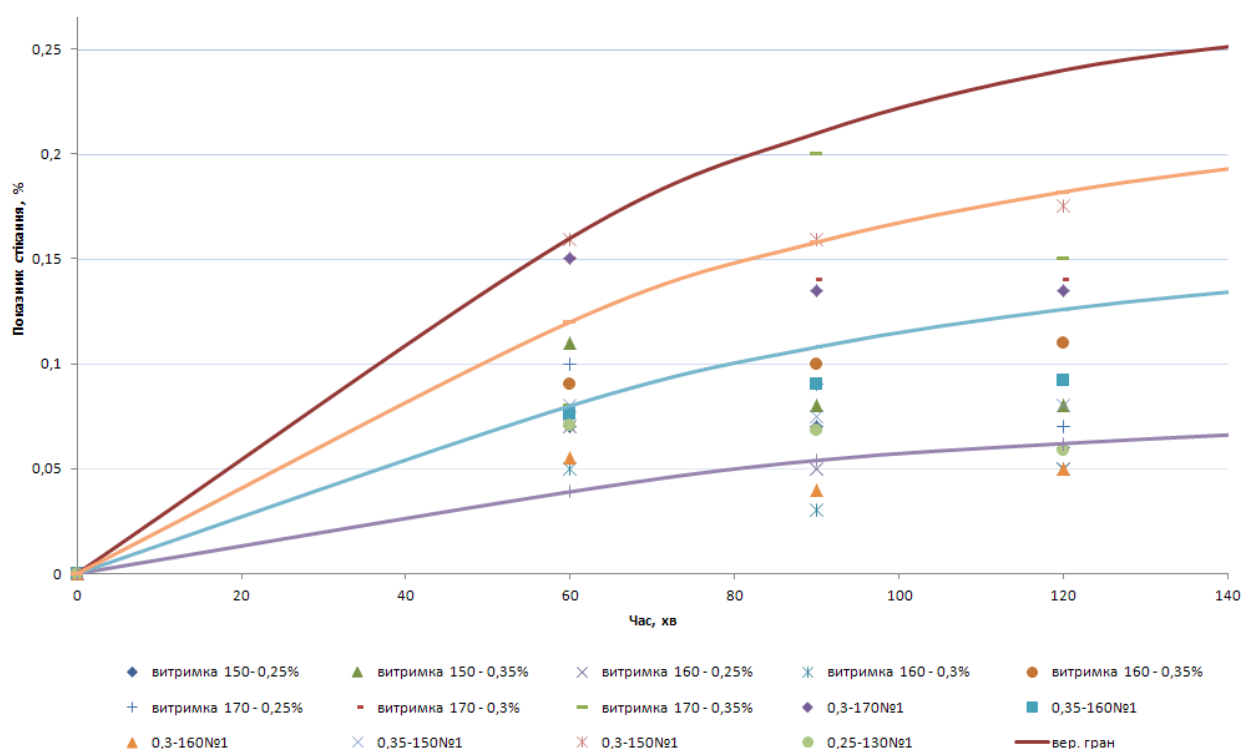


Рисунок 3.4 – Результати визначення залежності показника стікання від часу витримування

Отримані експериментальні дані дозволили отримати приведену узагальнену графічну залежність у відносних координатах V ($t=3\text{ год}$) $V(t)/V(t=3\text{ год})$ і побудувати номограму зміни показника стікання від часу витримування. За допомогою цієї номограми є можливість прослідкувати за значенням показника стікання, якщо час його витримування буде становити більше 1 години (Додаток А). Таким чином, дана методика дозволила

обґрунтувати значення показника стікання в залежності від часу витримування у накопичувачі.

Також був здійснений аналіз натурних досліджень виконаних при влаштуванні покриття із ЩМА на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ (табл. 3.4) та при влаштуванні покриття із ЩМА на просп. Бажана в м. Києві (табл. 3.5).

Таблиця 3.4 – Результати визначення показника стікання при влаштуванні покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ

Назва фірми виробника ЩМАС	Км	Показник стікання	Вміст щебеню, %	Вміст мінерального порошку, %	Вміст бітуму, %	Б/МП
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	24+850	0,09	66	9	6,9	0,77
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	17+300	0,02	59	7	7,3	1,04
АБЗ м. Ніжин	31+200	0,01	62	7	7,3	1,04
ШБУ-14	16+270	0,03	64	3	6,7	0,8
Південьзахідшлях-буд, АБЗ м. Київ	11+200	0,01	60	5	6,2	1,24
АБЗ с. Атюша, Південьзахідшлях-буд	132+100	0,05	78	8	6,67	0,85
АБЗ с. Атюша, установка в Вінниці						
Південьзахідшлях-буд	135+550	0,11	68	9	6,79	0,75
АБЗ с. Атюша, установка в Смілі Південьзахідшлях-буд	135+640	0,07	65	9	7	0,78

При витримуванні ЩМАС в накопичувачі, суміш знаходиться в стаціонарних умовах без впливу динамічних факторів, що виникають при транспортуванні ЩМАС. Тому крім факторів, що впливають на додаткове збільшення показника стікання при стаціонарних умовах (час витримування у накопичувачі при високих технологічних температурах), слід враховувати динамічні фактори, пов'язані з коливаннями кузова при транспортуванні ЩМАС в залежності від відстані або часу транспортування.

Таблиця 3.5 - Результати визначення показника стікання при влаштуванні покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на просп. Бажана в м. Києві

Дата	Вміст мінерального порошку, %	Вміст бітуму, %	Показник стікання
26.11	11,40	6	0,14
27.11	11,50	6,1	0,13
04.12	11,50	6,1	0,13
05.12	11,50	6,2	0,14
06.12	11,30	6,1	0,16
07.12	12,00	6	0,13
08.12	11,70	6	0,16
09.12	10,90	6,2	0,14
10.12	11,20	6	0,15
11.12	11,00	6,1	0,15
12.12	11,40	5,9	0,14
13.12	10,90	5,9	0,12
14.12	11,30	6	0,16
17.12	10,90	6	0,14
18.12	11,30	6	0,14
19.12	10,50	6	0,14
20.12	10,80	6,1	0,14
21.12	11,10	6	0,15
22.12	10,70	6,1	0,13

Нижче наведені результати дослідження впливу часу транспортування ЦМАС на показник розшарування.

3.1.1.2 Проведення досліджень та встановлення залежності між часом транспортування ЦМАС та показником розшарування

Лабораторні дослідження впливу динамічних коливань при транспортуванні ЦМАС на розшарування суміші

Метод визначення показника стікання в'язучого в залежності від часу транспортування

Дослідження впливу часу транспортування ЦМАС на показник стікання бітуму виконували згідно вимог стандартної методики, удосконаленої на кафедрі ДБМіХ НТУ. Удосконалення полягає у наступному: для імітації вібрації під час транспортування ЦМАС у кузові автосамоскида термостійкий

стакан обмотували теплоізолюючим матеріалом і проводили серію струшувань на удосконаленому струшуючому столику, конструкцію якого наведено на рис. 3.5, після чого далі стакан поміщали в сушильну шафу нагріту до температури випробування і витримували протягом заданого часу і потім визначали показник стікання.

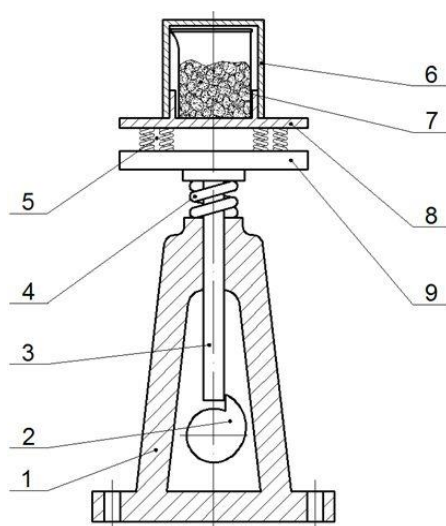
Конструкція столика повинна забезпечувати плавний без перекосів підйом рухомої частини на висоту $(10 \pm 0,5)$ мм і її вільне падіння з цієї висоти до удару об нерухому перешкоду.

Приклад конструкції столика наведено на рис. 3.5. За допомогою кулачка 1, що одержує рух від приводу, що переміщаються, частина, що складається з диска 2 і штока 3 піднімається на задану висоту і потім здійснює вільне падіння до удару об нерухому перешкоду - станину 4. Диск 2 повинен бути виконаний з корозійностійкого металу зі шліфованої робочою поверхнею.

Столик повинен бути встановлений горизонтально і закріплений на фундаменті або на металевій плиті.

Прилади контролю та допоміжне обладнання ті ж самі що і при стандартному випробуванні, а також спеціальна теплоізолююча підставка, яка забезпечує збереження температури випробування, зберігає стакан від механічного пошкодження під час струшування, імітує амортизацію кузова автосамоскида і струшувального столика.

Амплітудно-частотні характеристики коливання проби ЩМАС регулювали за допомогою амортизаційної системи платформи та швидкістю обертів ексцентрика під платформою. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик коливань проби ЩМАС виконували за допомогою тензометричного комплексу (рис. 3.6). Під час випробувань застосовували найбільш характерні параметри коливань проб ЩМАС, відповідно до коливань завантаженого кузова автомобіля: частота 6 – 8 Гц, прискорення 3 – 4 g.



1 – станина, 2 – кулачок, 3 – шток, 4 – пружина, 5 – верхні пружини, 6 – термоізоляція, 7 – стакан, 8 – верхній диск, 9 – диск столика

Рисунок 3.5 – Конструкція удосконаленого струшуючого столика

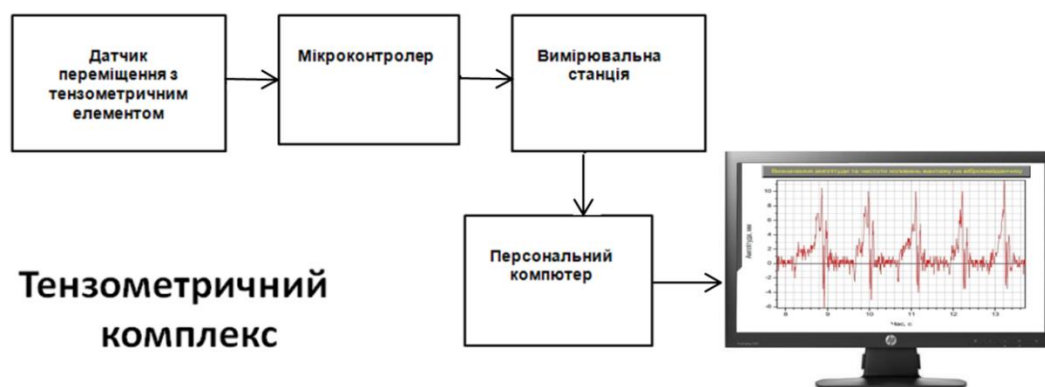


Рисунок 3.6 – Блок-схема тензометричного комплексу вимірювання амплітудно-частотних характеристик коливань проби ЦМАС

Підготовка до випробувань здійснюється аналогічно стандартній методиці ДСТУ Б В.2.7-127.

Порядок проведення випробування:

1. Порожній стакан зважують та термостатують у сушильній шафі на протязі 10 хвилин.
2. Стакан встановлюють на ваги, насипають (1000 ± 100) г ЦМАС, накривають чашкою або накривним склом і розміщують на (15 ± 1) хвилин в сушильну шафу.

3. Виймають стакан із шафи, знімають накривне скло, поміщають стакан в спеціальну теплоізолюючу підставку, (яка забезпечує підтримання температури випробування та збереження стакану від механічного пошкодження) і за допомогою струшуючого столика проводять 30-ти кратне струшування. Після цього стакан знову поміщають в сушильну шафу.

4. Операції пункту 3 повторюють кожні 15 хвилин до закінчення часу випробування.

5. Після останнього струшування стакан із сумішшю поміщають у сушильну шафу і витримують 15 хвилин при температурі випробування.

6. Виймають стакан із сушильної шафи, видаляють ЦМАС з стакану, перевертаючи і утримуючи його в такому положенні протягом (10 ± 1) с. уникаючи струшування.

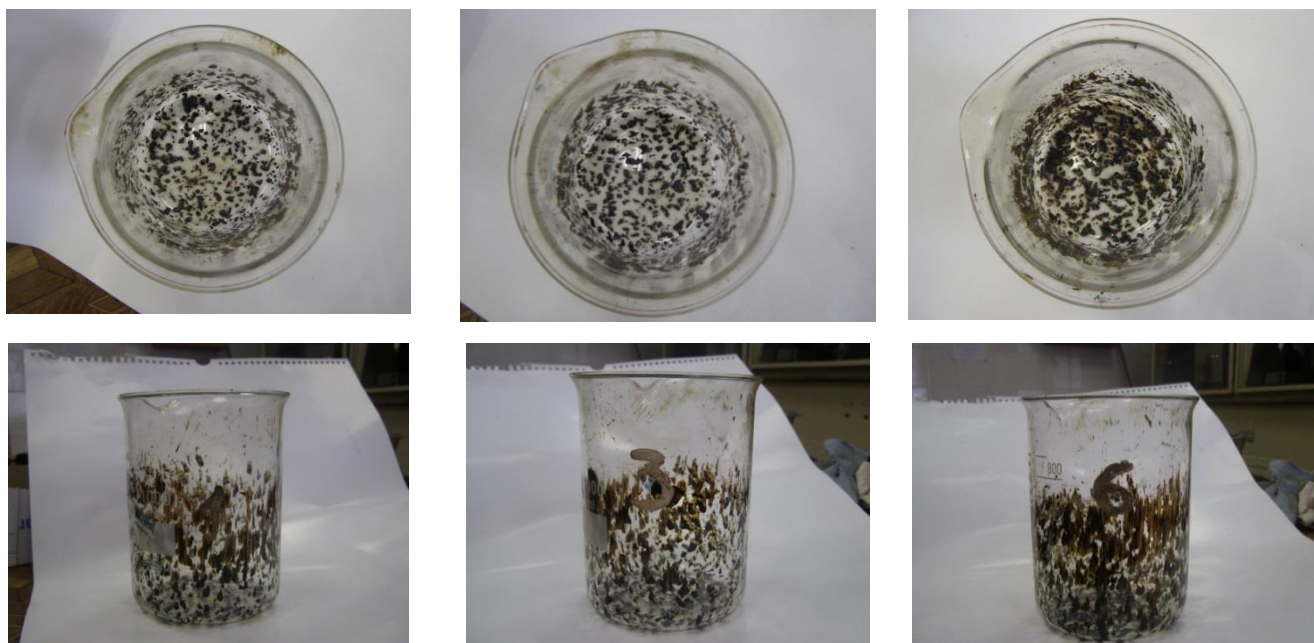
7. Охолоджують стакан протягом не менше 10 хвилин, а потім зважують (разом з залишками в'язучого і ЦМАС на його внутрішній поверхні).

Обробка результатів випробування проводиться аналогічно стандартній методиці.

Показник стікання визначали при різному часі витримування суміші у сушильній шафі і при різній кількості струшування. Час витримування складав 30, 45, 60 та 120 хв вміст волокон становив 0,25, 0,3 і 0,35 %. Випробування проводили при температурах 160 °C та 170 °C.

Загальний вигляд стаканів після визначення показника стікання в залежності від часу транспортування наведено на рис. 3.7.

При проведенні досліджень залежності показника розшарування від вмісту стабілізуючої добавки та часу транспортування ЦМАС можна зробити висновок, що показник розшарування суттєво залежить від часу транспортування, особливо при невеликій кількості волокон. Співставляючи дані чітко видно, що час транспортування більш суттєво впливає на показник розшарування, ніж час витримування (рис. 3.8).



а

б

в

а – 30 струшувань, б – 60 струшувань, в – 90 струшувань

Рисунок 3.7 – Загальний вигляд стаканів після визначення показника стікання в залежності від часу транспортування

З результатів досліджень слідує, що при довготривалому статичному витримуванні може відбутися перевищення допустимого значення стандартного показника стікання в'язучого (0,2 % при витримуванні проби ЩМАС в термошафі протягом 1-ї години), про що свідчить приклад, наведений на рисунку 3.8 (суцільна лінія). Аналізуючи результати залежності показника стікання від часу транспортування (рис. 3.8, штрихова лінія) можна відмітити, що спостерігається суттєве збільшення показника стікання в'язучого, який перевищує вимоги чинних нормативних документів.

Такі результати вказують, що час транспортування більш істотно впливає на показник стікання, оскільки при транспортуванні на великі відстані ЩМАС зазнає впливу коливань від автосамоскида.

Для оцінювання стійкості ЩМАС до впливу динамічних коливань запропоновано застосовувати коефіцієнт тиксотропії суміші, що є відношенням показника стікання в'язучого, отриманого після коливань проби ЩМАС ($B_{дин}$), до показника стікання, отриманого при статичному витримуванні ($B_{ст}$):

$$K_{TCT} = B_{дин} / B_{ст} . \quad (3.1)$$

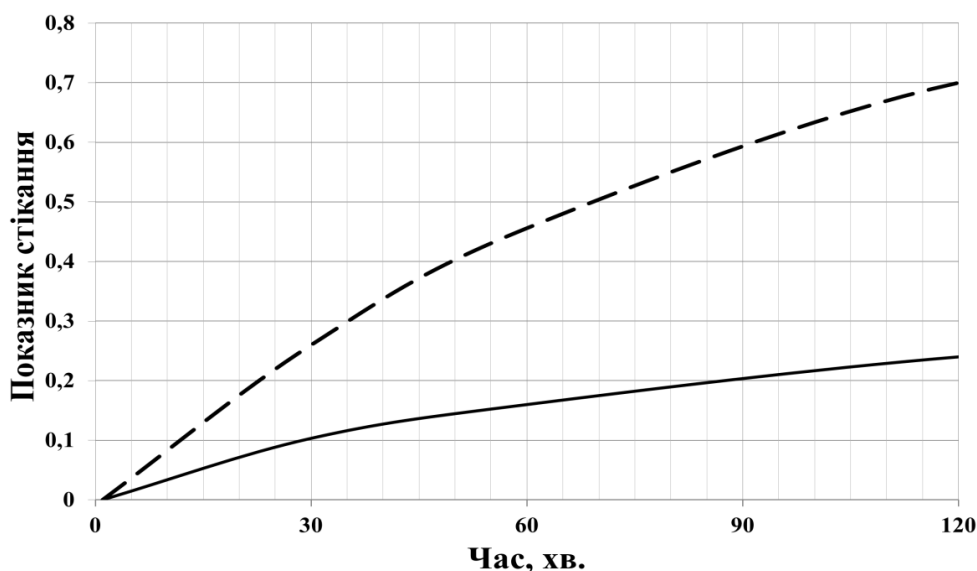


Рисунок 3.8 – Залежність показника стікання в'язучого, (%) від часу, (хв) витримування (суцільна лінія) і транспортування (штрихова лінія) для ЩМАС-20 на бітумі БНД 60/90

Також підтвердження впливу коливань кузова при транспортуванні на розшарування ЩМАС було отримано у наступних експериментах.

Для підтвердження впливу транспортування на показник стікання та виявлення сегрегаційних впливів скористалися наступною методикою.

Було виготовлено металевий циліндричний короб висотою 100 см, діаметром 11 см. Потім попередньо термоізований короб заповнювали ЩМАС при температурі 165°C. Після чого струшували у вертикальному положенні на струшуючому столику, аналогічно методики визначення показника стікання від дальності транспортування протягом 1 години.

Після динамічних впливів короб розбирався і суміш в ньому ділилася на дві рівні частини – верхню і нижню та видалялася з короба. Ці дві частини суміші далі випробовували на визначення показника стікання за стандартною методикою.

Результати визначення показника стікання показали, що показник стікання нижньої частини ЩМАС більший від показника стікання верхньої частини ЩМАС, і в залежності від гранулометричного складу, вмісту бітуму та стабілізуючих волокон значення показника стікання нижньої частини

збільшується в межах 1,05–1,8 разів в порівнянні з верхньою частиною (за результатами випробувань були одержані значення збільшення в 1,05, 1,08, 1,17, 1,23 та 1,8 разів).

Отримані результати експериментальних досліджень свідчать про те, що при транспортуванні деяка доля мастичної частини переміщується в нижню частину суміші, тим самим створюючи неоднорідну суміш за кількістю в'язучого, що може створити локальні місця з бітумними плямами на поверхні покриття.

Таким чином, проведені дослідження впливу динамічних факторів на показник стікання підтверджують роль тиксотропних властивостей мастичної частини на збільшення показника стікання при транспортуванні.

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують і пояснюють результати натурних спостережень за влаштуванням і поведінкою покриття із ЩМА на ряді вітчизняних об'єктів, куди асфальтобетонна суміш доставлялась на відстані 80 – 150 км, або транспортні засоби довгий час знаходились у заторах чи у дорозі, а також при проїзді по міських вулицях зі світлофорним регулюванням.

Вплив способів очищення стаканів на результати визначення показника стікання

Для підтвердження результатів аналізу впливу ретельності очищення стаканів від залишків в'язучого були проведені експериментальні дослідження.

Були співставлені результати характеристик розкиду результатів визначення показника стікання за різними двома методиками, що відрізнялись способами очищення стаканів.

За методикою №1 після випробувань стакани розігрівали в сушильній шафі до температури 120 ° С, потім внутрішню частину очищали за допомогою розчинника, замінюючи його не менше трьох разів, після чого витирали насухо фільтрувальним папером і застосовували для повторного використання.

За методикою №2 всі процедури здійснювали за методикою очищення скелець згідно з ДСТУ Б В.2.7-81. Внутрішню поверхню скляних стаканів промивали розчинником, промивали водою з господарським милом, а потім

дистильованою водою. Підготовлені таким чином скляні стакани кип'ятили у дистильованій воді 30 хв, після чого їх висушували при кімнатній температурі або в сушильній шафі при температурі $(105 \pm 2)^\circ \text{C}$ протягом (35 ± 5) хвилин. Внутрішню поверхню скляних стаканів протирали фільтрувальним папером перед наступним застосуванням.

За такими методиками випробовувались різні склади ЩМАС з різними стабілізуючими волокнами, з різною кількістю та на різних бітумних в'язучих. Визначення показника стікання встановлювали за методикою додатку В ДСТУ Б.В.2.7-127. При цьому за методикою очищення стаканів №1 аналізували масив даних що складався із 34 результатів середніх вимірюваних значень показника стікання та їх коефіцієнту варіації. А за методикою очищення стаканів №2 масив даних складався із 21 результату середніх вимірюваних значень показника стікання та їх коефіцієнту варіації. Результати проведеного аналізу показали, що розкид даних за методикою очищення стаканів №2 зменшився на 30%, що підтверджує доцільність застосування методів очищення внутрішньої поверхні стаканів від залишків бітумного в'язучого за вимогами чинних нормативних документів наведених в ДСТУ Б В.2.7-81 та ГОСТ 8.234-77.

Проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. В лабораторії НТУ були проведені дослідження різних складів ЩМАС з різною кількістю стабілізуючих добавок та встановлені характерні залежності між вмістом стабілізуючої добавки, часом зберігання та/або транспортування ЩМА та показником розшарування.

2. Як показують результати проведених випробувань показник стікання залежить від кількості волокон, вмісту в'язучого та зернового складу щебенево-мастикового асфальтобетону. При використанні целюлозних волокон значна частина процесу розшарування відбувається протягом першої години після виготовлення суміші ЩМА

3. Також суттєво на показник стікання впливає час транспортування ЩМАС, оскільки при транспортуванні на великі відстані ЩМАС зазнає впливу

вібрацій та струшувань від автомобіля самоскида, внаслідок цього, при транспортуванні деяка доля мастичної частини переміщається в нижню частину суміші, тим самим створюючи неоднорідну суміш за кількістю в'язучого, що може створити локальні місця з бітумними плямами на поверхні покриття. З отриманих результатів чітко видно, що час транспортування більш суттєво впливає на показник розшарування, ніж час витримування. Тому при транспортуванні на великі відстані потрібно встановлювати підвищені вимоги до показника стікання.

4. Розроблені рекомендації щодо уточнення показників властивостей ЩМАС, дадуть можливість забезпечити зменшення розшарування сумішей в залежності від часу зберігання в накопичувальному бункері та часу транспортування.

5. Застосування енергозберігаючих добавок впливає на збільшення показника стікання ЩМАС, тому потрібно більш уважно ставитися до вибору таких добавок та зменшувати температуру приготування ЩМАС, але не нижче рекомендованої температури виробника добавок.

6. Повторне використання лабораторного посуду вимагає ретельного миття і видалення всіх залишків в'язучого (бажано по однаковій методиці) для уникнення суттєвого розкиду між паралельними випробуваннями.

3.2 Методи лабораторного визначення термореологічних характеристик ЩМА

3.21 Приготування зразків

При проведенні лабораторних досліджень зразки матеріалів готують, відбирають, випробовують, та розраховують результати випробувань згідно з вимогами [141].

Суміші мінеральних матеріалів з органічним в'язучим при приготуванні органо-мінеральних сумішей перемішують у лабораторному змішувачі (допускається змішування вручну) відповідно до [141].

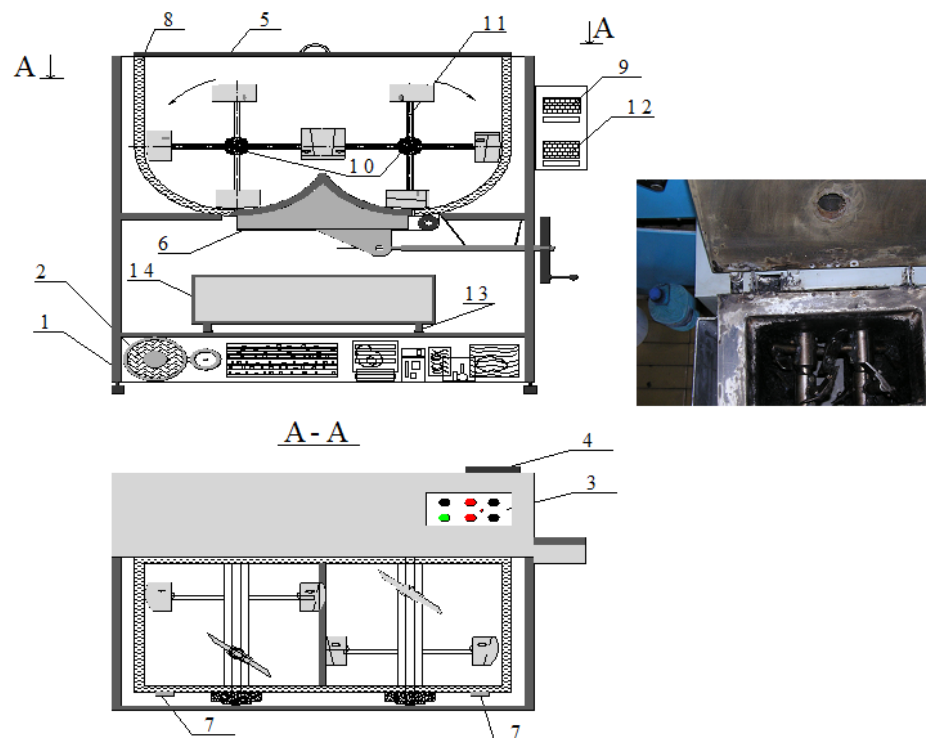
Багато змішування виконувати в лабораторному змішувачі (рис 3.9), оскільки при ручному перемішуванні час, температура та інтенсивність перемішування суттєво впливають на структуроутворення в матеріалі.

Властивості матеріалу ЩМА визначають на зразках, що отримані ущільненням сумішей в сталевих формах. Форми та методику виготовлення циліндричних зразків застосовували згідно [142], Температура ЩМАС при виготовленні зразків повинна відповідати вимогам [15] для випадку початку ущільнення

Відбір зразків з покриття здійснюють згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 у вигляді кернів діаметром не менше 100 мм або вирубків масою, виходячи з кількості зразків, які потрібні для випробувань, не раніше, ніж через добу після влаштування покриття. Переформовування кернів, або вирізаних зразків не допускається [15].

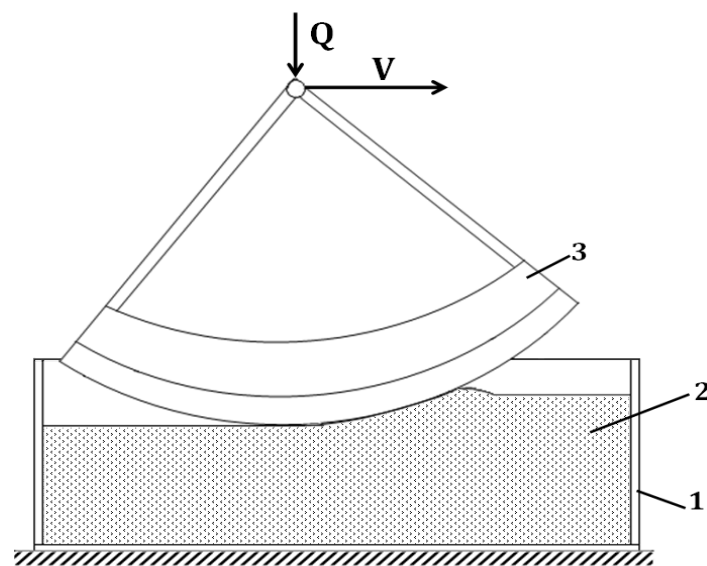
Ущільнення зразків з гарячих сумішей, що містять понад 35% щебеню за масою, слід виконувати на секторному пресі (методика Хом'якова-Радовського-Щербакова), що імітує ущільнення суміші котками на дорожніх об'єктах і створює структуру ЩМА, близьку до натурних умов (рис. 3.10), згідно СОУ 45.2-00018112-020 [141].

Визначення термореологічних і термомеханічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону, які використовуються для оцінювання довговічності покриття із ЩМА, визначали на зразках балочках отриманих шляхом розпилування попередньо розміченої асфальтобетонної плити за допомогою каменерізного станка на зразки необхідних розмірів, що передбачені для випробувань.



1 - зварна рама; 2 – електродвигун; 3 - пульт управління; 4 – тумблер; 5 – верхня кришка; 6 – нижня кришка; 7 - теплоелектричними нагрівачами; 8 - масляна сорочка корпус; 9 – таймер температури; 10 – вал; 11 – стояки; 12 – таймер часу перемішування; 13 висувна рамка; 14 – піддон.

Рисунок 3.9 – Лабораторний змішувач для приготування асфальтобетонних сумішей



1 – металева форма; 2 – ЩМАС; 3 – сектор

Рисунок 3.10 – Схема ущільнення ЩМАС за допомогою секторного преса

Після розпилювання приготовані зразки очищають та висушують до постійної маси.

3.2.2 Методики лабораторного визначення термореологічних характеристик ЦМА

Визначення розрахункових термореологічних характеристик для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття (функція релаксації, функція температурно-часового зміщення, функція довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування) здійснювали експериментально-теоретичним методом.

Опираючись на положення теорії термо-в'язко-пружності та теорії кінетичної міцності твердих тіл передбачено застосовувати аналітичні залежності, що дозволяють визначати відповідні термореологічні характеристики на основі відомих літературних даних та результатів експерименту.

Функцію релаксації $R(t)$ визначали за залежністю:

$$R(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0}. \quad (3.2)$$

Також при визначенні функції релаксації може бути використана методика Б.С. Радовського, основана на зв'язку між функцією релаксації $R(t)$, функцією повзучості $\Pi(t)$ і модулем пружності $E(t)$ при тривалості дії навантаження t :

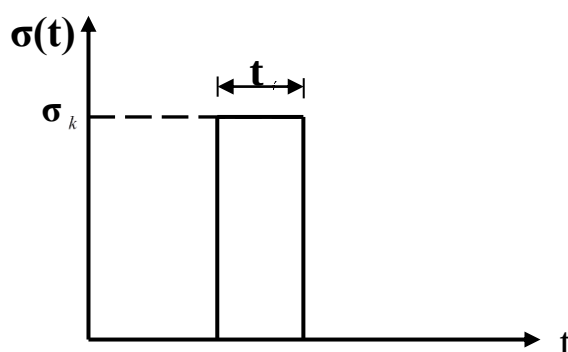
$$R(t) \approx 1/\Pi(t) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon(t)} = E(t). \quad (3.3)$$

Таким чином, для визначення функції релаксації необхідно, щоб прилади і устаткування могли забезпечити можливість виконання наступних операцій: проведення дослідів на визначення повзучості (прямої і зворотної) або релаксації; проведення таких дослідів при різних напруженнях, деформаціях і температурах; виконання швидкого безударного навантаження або деформування зразків; здійснення надійної реєстрації результатів вимірювань.

Повні криві релаксації та повзучості охоплюють декілька порядків часу (як правило, від 10^{-10} до 10^8 с). Проте існуючі прилади та апаратура, що дозволяють безпосередньо проводити досліди на повзучість і релаксацію, не можуть охопити такого широкого діапазону часу. Тому для випробувань комбіновано застосовували прилади з різною можливістю реєструвати тривалість навантаження та деформації.

Найбільш зручно проводити досліди на повзучість при прикладанні напружень з заданим часом дії навантаження t_n за схемою рис. 3.11

Одним із доступних і простих методів навантаження зразка у режимі одноразового прикладання зусиль з різним часом його дії, є навантаження за схемою згідно ГОСТ 10180, коли вимірюють прогин зразка в середині прогону. Рівні навантажень встановлюються такими, щоб на основі випробувань побудувати залежність, відповідно до СОУ 45.2-00018112-059

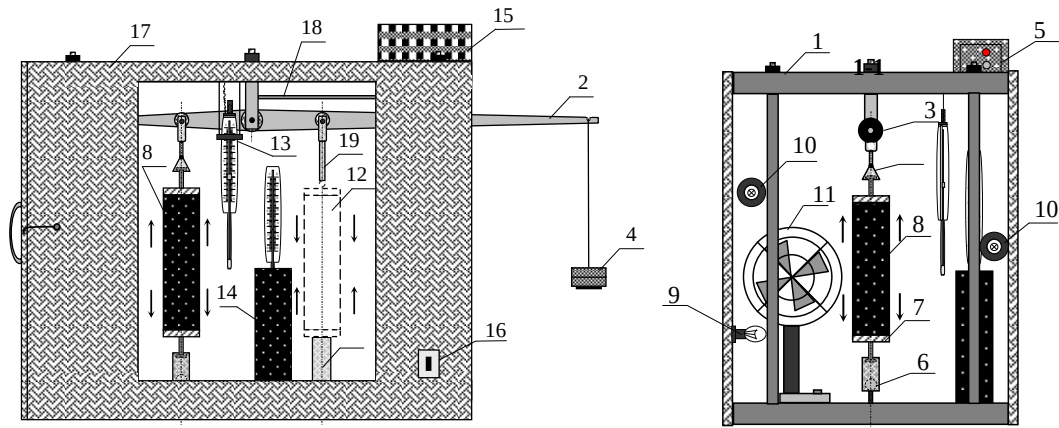


$\sigma(t)$ – горизонтальні нормальні напруження, величина яких залежить від часу дії навантаження; σ_k – горизонтальні нормальні напруження, які виникають при тривалості дії навантаження t_n

Рисунок 3.11 – Схема режиму навантаження зразка під час випробування

При цьому встановлювали рівні навантаження та проводили визначення модуля пружності виду монолітного матеріалу відповідно до методики СОУ 45.2-00018112-059.

Для проведення експериментів на тривалу повзучість та визначення параметрів функції довговічності застосовували прилад важільного типу за схемою наведеною на рис. 3.12.



- 1 - станина (корпус); 2 - консоль; 3 - вантаж для рівноваги консолі; 4 - навантаження;
 5 - двохарнірний фіксатор за який кріпиться асфальтобетонний зразок;
 6 - одношарнірний фіксатор за який кріпиться асфальтобетонний зразок; 7 - металева пластина, що приклеюється до зразка 8 епоксидним клеєм, з іншої сторони пластини вкручений гвинт, який закріплюється на фіксаторі 6; 8 - асфальтобетонний зразок, який випробовується на розтяг; 9 - лампа для освітлення; 10 - лампи для нагрівання термокамери;
 11 - вентилятор; 12 – асфальтобетонний зразок, який випробовується на стиск;
 13 - контактний термометр; 14 – асфальтобетонний зразок із термометром в середині;
 15 - терморегулятор; 16 - вимикач для освітлення; 17 - термокамера; 18 - виносна консоль з гвинтом для урівноваження консолі 2; 19 - шарнірний стержень з кулькою у нижній частині, який тисне на зразок 12; 20 - циліндрична трубка, що закріплена нерухомо

Рисунок 3.12 – Прилад для дослідів на тривалу повзучість

Реєстрацію сигналів від тензодинамометрів і тензодилатометрів при швидкопротікаючих процесах проводили за допомогою спеціальних електронних пристроїв та комп'ютерних програм, що дозволяють обробляти і зберігати інформацію від сигналів первинної апаратури.

Для апроксимації експериментальних даних, отриманої вищеописаним способом повної кривої функції релаксації при базовій температурі (температурі приведення) $T=Q$, використовували модифікований степеневий закон виду:

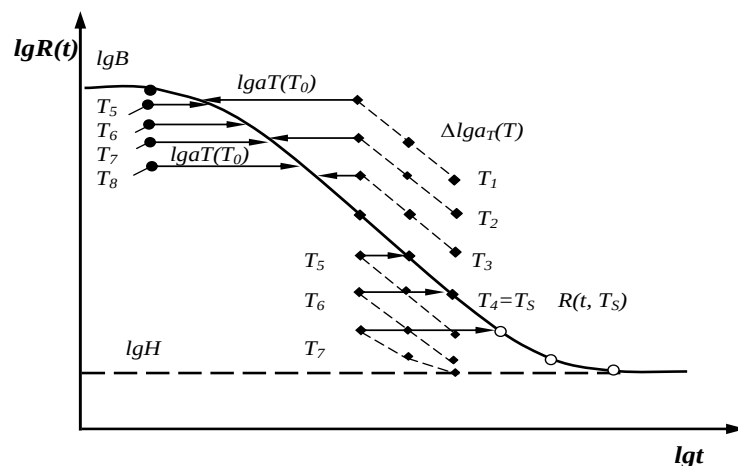
$$R(t) = H + (B - H) \cdot \left(1 + \frac{t}{r}\right)^{-m} \quad (3.4)$$

Визначення функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$

За визначенням функція температурно-часового зміщення $a_T(T)$ відображає температурну чутливість зміни в'язкопружних властивостей асфальтобетону, а логарифм її значення чисельно дорівнює довжині відрізка вздовж логарифмічної шкали часу, на яку необхідно змістити паралельні між собою криві релаксації (або повзучості) одну відносно іншої, отриманих експериментально при різних постійних температурах T_1 і T_2 до їх суміщення:

$$\lg a_T(T) = \lg t(T_1) - \lg t(T_2) \quad (3.5)$$

Схема побудови повної кривої функції релаксації та встановлення значень функції температурно-часового зміщення показана на рис. 3.13.



- – при прозвучуванні ультразвуком; ■ – при випробуванні в умовах короткочасної повзучості; o – те ж в умовах тривалої повзучості

Рисунок 3.13 – Схема побудови повної кривої модуля пружності асфальтобетону на підставі застосування принципу температурно-часової аналогії за результатами експериментів

Для апроксимації експериментальних значень функції температурно-часового зміщення використовували залежність виду:

$$a_T(T) = e^{-P_1(T_0 + Kt - T_s)} \quad (3.6)$$

Визначення функції довговічності

Для виконання розрахунків асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість необхідно встановити експериментальні параметри функції довговічності, що має вигляд:

$$t_p = B_\tau(T) \sigma^{-b_\tau(T)}, \quad (3.7)$$

де t_p – час до руйнування матеріалу при дії напруження σ ;

B_τ і b_τ – експериментальні параметри.

Визначення параметрів функції довговічності здійснювали при випробуванні зразків з постійними швидкостями наростання навантаження та при випробуванні з постійним навантаженням.

В першому випадку формули для визначення параметрів функції довговічності B_τ в МПа с, b_τ мають такий вигляд:

$$b_\tau = \frac{\left(\lg \frac{V_{\sigma 1}}{V_{\sigma 2}} \right)}{\left(\lg \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) - 1}, \quad (3.8)$$

де $V_{\sigma 1}$, $V_{\sigma 2}$ – швидкості наростання навантаження;

σ_1 , σ_2 – граничне напруження зразка, який випробовували відповідно при $V_{\sigma 1}$, $V_{\sigma 2}$ швидкостях наростання навантаження.

$$B_\tau = \frac{\sigma_1^{b+1}}{V_{\sigma 1} \cdot (b+1)}. \quad (3.9)$$

Для випробування асфальтобетонних зразків при дії плавно зростаючого з постійною швидкістю силового навантаження в умовах одностороннього згину використовувалась установка А-1 адаптована проф. В.В. Мозговим для різних схем випробування. Постійна швидкість росту напруження в зразку досягається

при висипанні через калібрований отвір промитого річкового піску або дробу.

Перед випробуванням зразки витримують протягом 2 годин при заданій температурі, яку підтримують і в процесі випробування.

Порядок проведення випробування такий:

- встановлюють зразок на опори;
- через калібрований отвір воронки висипають пісок або дріб із заданою постійною швидкістю росту навантаження $V_{\sigma l}$ і при руйнуванні зразка фіксують час до руйнування;
- повторюють такі випробування при іншій швидкості росту навантаження.

Граничне напруження σ в МПа та швидкість наростання навантаження V_{σ} визначаються за формулами:

$$\sigma = \frac{3 \cdot Pl}{2 \cdot bh^2}, \quad (3.10)$$

де P – руйнівне навантаження, Н;

l – відстань між опорами, см;

b – ширина зразка, см;

h – висота зразка, см.

$$V_{\sigma} = \frac{\sigma}{t_p}, \quad (3.11)$$

де t – час до руйнування, с.

В другому випадку формули для визначення параметрів функції тривалої міцності мають такий вигляд:

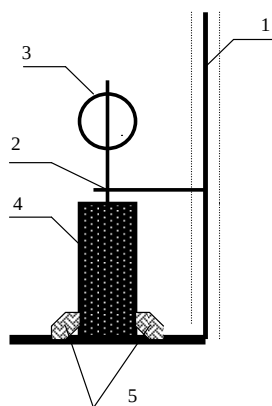
$$b_r = \frac{\lg \frac{t_1}{t_2}}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}, \quad (3.12)$$

де t_1, t_2 – час до руйнування зразків;

$$B_{\tau} = t_1 \sigma_1^b \quad (3.13)$$

Визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування α

На лабораторному штативі (рис. 3.14,) встановлювали асфальтобетонні зразки, які закріплювали алебастром. На торець зразків встановлювали індикатор годинникового типу. Після цього зразки розташовували в морозильну камеру та охолоджували. При цьому спостерігали за зміною показань на індикаторі годинникового типу, показання знімали через кожні 15 хв.



1 - штатив, 2 - закріплювач індикатора часового типу, 3-індикатор часового типу, 4-балочка, 5-кріплення балочки до штатива

Рисунок 3.14 – Схема приладу для визначення коефіцієнта лінійного температурного деформування α

За результатами випробувань визначали коефіцієнт лінійного температурного деформування α з урахуванням температурного деформування вертикальної стійки штативу за формулою:

$$\alpha = \frac{(n_1 - n_2)}{l(T_1 - T_2)} + \alpha_{CT}, \quad (3.14)$$

де n_1 та n_2 – показання по індикатору (мм) відповідно при температурах T_1 і T_2 ;

l – довжина зразка (мм);

$\alpha_{ст}$ - коефіцієнт температурного деформування стійки штатива.

Стендові випробування покриття із ЩМА

Дослідження поведінки покриття із ЩМА в різних конструкціях дорожнього одягу під дією рухомого транспортного навантаження проводили на кільцевому стенді (рис. 3.15, 3.16). Аналізували вплив рецептури ЩМАС та особливостей конструкції дорожнього одягу на поведінку покриття залежно від кількості проїздів автомобілів.



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд кільцевого стенду



Рисунок 3.16 – Відбір кернів на кільцевому стенді

Зокрема оцінювали зчеплення асфальтобетонного покриття із ЩМА і нижче розташованих асфальтобетонних шарів за допомогою методики СОУ 45.2-00018112-046 [143]. Для досліджень використовували прилад НТУ-ЗЧ-1 та зразки керни, які були відібрані з покриття кільцевого. При визначенні міцності зчеплення між шарами було встановлено, що найвищий коефіцієнт запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві спостерігався між шаром покриття із ЩМА та нижче розташованим шаром, влаштованим з асфальтобетону типу А. При цьому було встановлено, що застосування модифікованої бітумної емульсії підвищує цей показник на 20 – 30 % у порівнянні з немодифікованою.

3.3 Результати лабораторних досліджень

З метою визначення необхідних характеристик матеріалів були використані зразки-балочки, попередньо нарізані з вирубок, які відбиралися з покриття кільцевого стенда (отримані фізико-механічні характеристики наведені в Додатку А).

Результати визначення параметрів функції довговічності, отриманих при експериментальних дослідженнях різних асфальтобетонів при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, наведено додатку А.

Аналіз отриманих результатів (Додаток А) свідчить, що параметр b_r та показник втоми m для досліджуваних асфальтобетонів змінюються від температури, а саме для типу А змінюються від температури $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 47%, для типу Б на 35%, для ЩМА-10 на 22%, для ЩМА-20 на 28%.

Отримані експериментальні результати дозволили на основі залежності здійснити порівняльний аналіз довговічності застосованих асфальтобетонів. Результати довговічності асфальтобетону на основі залежності часу руйнування різних асфальтобетонів від рівня навантаження при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, наведено в Додатку А. З наведених даних слідує що при малих рівнях напружень за температури $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- найменшу довговічність (час до руйнування) має асфальтобетон типу А;
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-20 вища на 6% в порівнянні з типом А;
- довговічність асфальтобетону типу Б вища на 15% в порівнянні з типом А, і на 8% в порівнянні з типом ЩМА-20;
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-10 вища на 26% в порівнянні з типом А, і на 19% в порівнянні з типом ЩМА-20, та вища на 10% в порівнянні з типом Б.

При високих рівнях напружень за температури $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- найменшу довговічність (час до руйнування) при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ має асфальтобетон типу ЩМА-20;

- довговічність асфальтобетону типу А вища на 4% в порівнянні з типом ЩМА-20;
- довговічність асфальтобетону типу Б вища на 16% в порівнянні з типом ЩМА-20, і на 12% в порівнянні з типом А; ...
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-10 вища на 20% в порівнянні з ЩМА-20, і на 16% в порівнянні з типом А, та вища на 3% в порівнянні з типом Б.

При чому при малих рівнях напруження довговічність вища в асфальтобетону типу ЩМА-20 ніж у типу А, а при великих рівнях напруження – навпаки.

При малих рівнях напружень за температури 0 °С:

- найменшу довговічність (час до руйнування) має асфальтобетон типу А;
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-20 вища на 3% в порівнянні з типом А;
- довговічність асфальтобетону типу Б вища на 7% в порівнянні з типом А, і на 4% в порівнянні з типом ЩМА-20; ...
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-10 вища на 11% в порівнянні з типом А, і на 8% в порівнянні з типом ЩМА-20, та вища на 4% в порівнянні з типом Б.

При високих рівнях напружень за температури +0 °С:

- найменшу довговічність (час до руйнування) має асфальтобетон типу А;
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-20 вища на 1% в порівнянні з типом А;
- довговічність асфальтобетону типу Б вища на 7% в порівнянні з типом А, і на 5% в порівнянні з типом ЩМА-20; ...
- довговічність асфальтобетону типу ЩМА-10 вища на 9% в порівнянні з типом А, і на 7% в порівнянні з типом ЩМА-20, та вища на 2% в порівнянні з типом Б.

Результати визначення границі міцності на розтяг при згині різних асфальтобетонів при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ та 0°C наведено в Додатку Б.

Результати визначення границі міцності на розтяг при згині різних асфальтобетонів свідчать, що застосування полімеру дозволяє збільшити міцність на 10 – 50 %. Серед асфальтобетонів, що отримані на бітумі без модифікаторів найбільшу міцність має асфальтобетон типу Б, а найменшу ЩМА-10 та ЩМА-20. Серед асфальтобетонів, що отримані на бітумі із застосуванням модифікаторів найбільшу міцність має асфальтобетон ЩМА-20, а найменшу – асфальтобетон типу А.

Отримані результати модуля пружності випробуваних асфальтобетонів при різних температурах і часу дії навантаження наведені в Додатку А.

Отримані результати модуля пружності випробуваних асфальтобетонів при різних температурах і часу дії навантаження свідчать, що модуль пружності ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90 є найбільшим у порівнянні з іншими асфальтобетонами, а найменший модуль пружності в ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90 при часу дії навантаження 0,1 с. Так, модуль пружності ЩМА-10 становить при температурі 20°C та 10°C на 60 % більше в порівнянні з ЩМА-20 при аналогічній температурі та часу дії навантаження 0,1 с, а при 0°C на 56 % більший в порівнянні з ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90.

Важливою характеристикою стійкості асфальтобетону до дії транспортного навантаження при високих температурах є здатність до накопичення залишкових деформацій та зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві. Нижче наведені результати випробувань та їх аналіз.

Результати випробування зразків асфальтобетону за стійкістю до накопичення залишкових деформацій наведені в Додатку А.

Аналіз отриманих результатів по накопиченню залишкових деформацій (Додаток А) свідчить, що найбільш колієстійким асфальтобетоном являється ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером, найменш колієстійким являється асфальтобетон типу А-20 на БНД 60/90, при тому значення глибини колії при 4000 проходів колеса в асфальтобетоні типу А-20 на БНД 60/90 більша у 2,7 раза в порівнянні з ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером.

Аналізуючи вплив навантаження на колієстійкість асфальтобетону можна сказати, що тип А-20 на бітумі, модифікованому полімерами, на 50 % стійкіший до утворення колії в порівнянні до типу А-20, на традиційному бітумі БНД 60/90 при 4000 проходів колеса. А, ЩМА-10 на бітумі модифікованому полімерами на 60 % стійкіший до утворення колії в порівнянні до ЩМА-10, на традиційному бітумі БНД 60/90 при 4000 проходів колеса. Результати дослідження залежності глибини колії в асфальтобетонах в залежності від кількості проходів металевого колеса показали, що використовуючи асфальтобетони на бітумах, модифікованих полімерами, можна підвищити колієстійкість асфальтобетонного покриття на 50-60%.

Також було виконано випробування щебенево-мастикового асфальтобетону для визначення показників його колієстійкості, згідно з вимогами EN 12697-22 або AASHTO T 324. Згідно з цими вимогами за таблицею D.1 PNEN 13108-20 ЩМА для верхніх шарів покриття слід випробовувати при температурі 60 °C по методиці В на повітрі.

Методика випробувань згідно EN 12697-22 передбачає наступне.

Зразки-плити, які виготовлені на секторному пресі за методикою розділу 1, термостатуються протягом 5-ти годин при температурі 60 °C. Підготовані до випробування зразки-плити піддаються дії циклічного навантаження, яке передається на зразок за допомогою колеса із гумовою шиною відповідних розмірів. Згідно із табл. D.1 PN-EN 13108-20 кількість циклів зворотно-поступальних рухів колеса складає 10000 циклів (або 20000 навантажень кожної точки по траєкторії випробувального колеса). При випробуванні навантаження на зразок через колесо становить $(700 \pm 10)N$. При цьому, частота циклів складає $26,5 \pm 1$ на 60 секунду. Згідно з вимогами PN-EN 13108-5 стійкість до накопичення залишкових деформацій щебенево-мастикового асфальтобетону характеризують за:

- кутом нахилу кривої колієутворення (WTS_{AIR}), для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;
- пропорційною глибиною колії після 10000 циклів (PRD_{AIR}) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;

- глибиною колії після 10000 циклів (RD_{AIR}) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб.

За результатами випробувань ЦМА на колійність встановлено такі параметри: показник WTS_{AIR} становить 0,03; показник PRD_{AIR} становить 0,90; показник RD_{AIR} становить 1,9 мм.

Результати випробування щебенево-мастикового асфальтобетону для визначення показників його колієстійкості згідно з методикою випробувань EN 12697-22

В результаті пробного ущільнення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші (рисунк 3.17) встановлено, що максимальна щільність суміші досягається при навантаженні на сектор 150 кг, а час ущільнення, достатній для ущільнення асфальтобетону до заданих параметрів рівний 1 хвилині.

Методика проведення випробувань

Згідно з завданням Замовника, випробування щебенево-мастикового асфальтобетону для визначення показників його колієстійкості, необхідно виконати згідно з вимогами EN 12697-22 або AASHTO T 324. У відповідності з цими вимогами за таблицею D.1 PNEN 13108-20 ЦМА для верхніх шарів покриття слід випробовувати при температурі 60 °C по методиці В на повітрі.

Методика випробувань згідно EN 12697-22 передбачає наступне.

Зразки-плити, які виготовлені на секторному пресі за методикою розділу 1, термостатуються протягом 5-ти годин при температурі 60 °C. Підготовані до випробування зразки-плити піддаються дії циклічного навантаження, яке передається на зразок за допомогою колеса із гумовою шиною відповідних розмірів. Згідно із табл. D.1 PN-EN 13108-20 кількість циклів зворотно-поступальних рухів колеса складає 10000 циклів (або 20000 навантажень кожної точки по траєкторії випробувального колеса). При випробуванні навантаження на зразок через колесо становить $(700 \pm 10)N$. При цьому, частота циклів складає $26,5 \pm 1$ на 60 секунду.

Глибина колії вимірюється через 500; 1000; 4000; 5000; 10000; 15000; 20000 навантажень у відповідних точках. Розташування точок вимірювання глибини колії виконується за схемою, наведеною на рисунку 3.18.

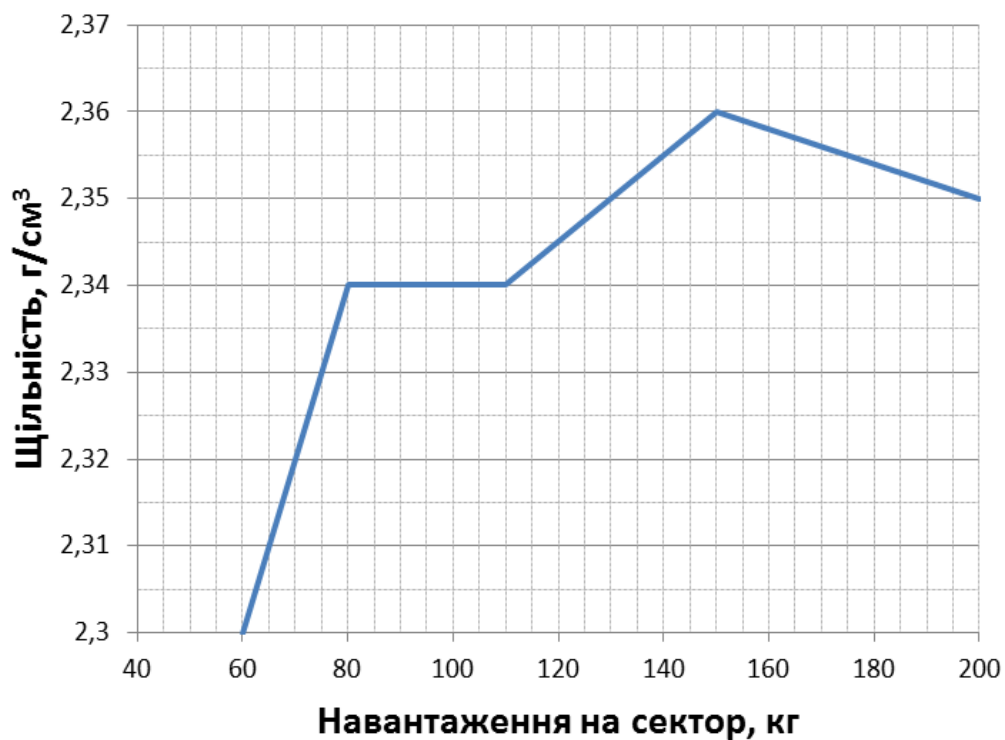
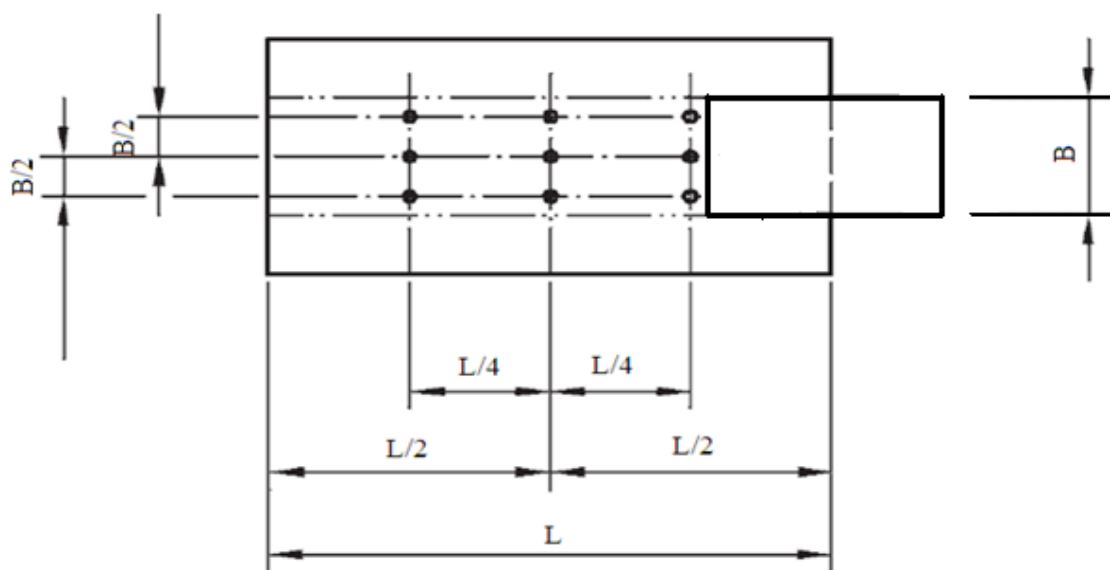


Рисунок 3.17 – Результати пробного ущільнення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші



B – ширина колеса; L – довжина зразка асфальтобетону

Рисунок 3.18 – Схема розташування точок вимірювання глибини колії

Результати випробувань

Кут нахилу кривої колієутворення (WTS_{AIR}), в мм на 10^3 циклів навантаження, визначається за формулою:

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}, \quad (3.15)$$

де d_{5000} , d_{10000} – глибина колії після 5000 та 10000 циклів навантаження в міліметрах.

Пропорційна глибина колії (%) після 10000 циклів (PRD_{AIR}) визначається за формулою:

$$PRD_{AIR} = 100 \times \sum_{j=1}^3 \frac{(m_{ij} - m_{0j})}{(3 \times h)} \quad (3.16)$$

де m_{ij} – деформація в точці після 10000 циклів, мм;

m_{0j} – початковий вимір в точці;

h – товщина зразка, мм.

Під час випробування щебенево-мастикового асфальтобетону, для визначення показників його колієстійкості, були випробувані 3 проби (зразки) даного матеріалу, виготовлені за методикою розділу 1.

З результатів випробувань (таблиця 3.6, рис. 3.19) слідує, що глибина колії після 500 циклів в середньому рівна 1,0 мм; після 2000 циклів – 1,3 мм; після 2500 циклів – 1,5 мм; після 5000 циклів – 1,6 мм; після 7500 циклів – 1,7 мм; після 10000 циклів – 1,9 мм. Максимальна величина глибини колії після 10 000 циклів складає 2,0 мм, а мінімальна її величина – 1,8 мм.

Таблиця 3.6 – Результати випробувань по визначенню глибини колії в щебенево-мастиковому асфальтобетоні

Кільк. циклів	Глибина колії, мм								
	Зразок № 1			Зразок № 2			Зразок № 3		
Прикатка									
250	1	0,4	0,5	0,7	0,6	1	1,1	0,9	0,5
500	1,2	0,9	0,9	1,1	0,8	1,1	1,4	1	0,8
2000	1,4	1,2	1,2	1,4	1	1,5	1,7	1,3	0,9
2500	1,5	1,3	1,5	1,6	1,1	1,8	1,8	1,4	1,2
5000	1,8	1,4	1,5	1,7	1,3	1,9	2	1,5	1,3
7500	1,7	1,6	1,6	1,9	1,5	2,1	2	1,7	1,5
10000	1,7	1,8	1,8	2	1,8	2,2	2,2	1,8	1,7

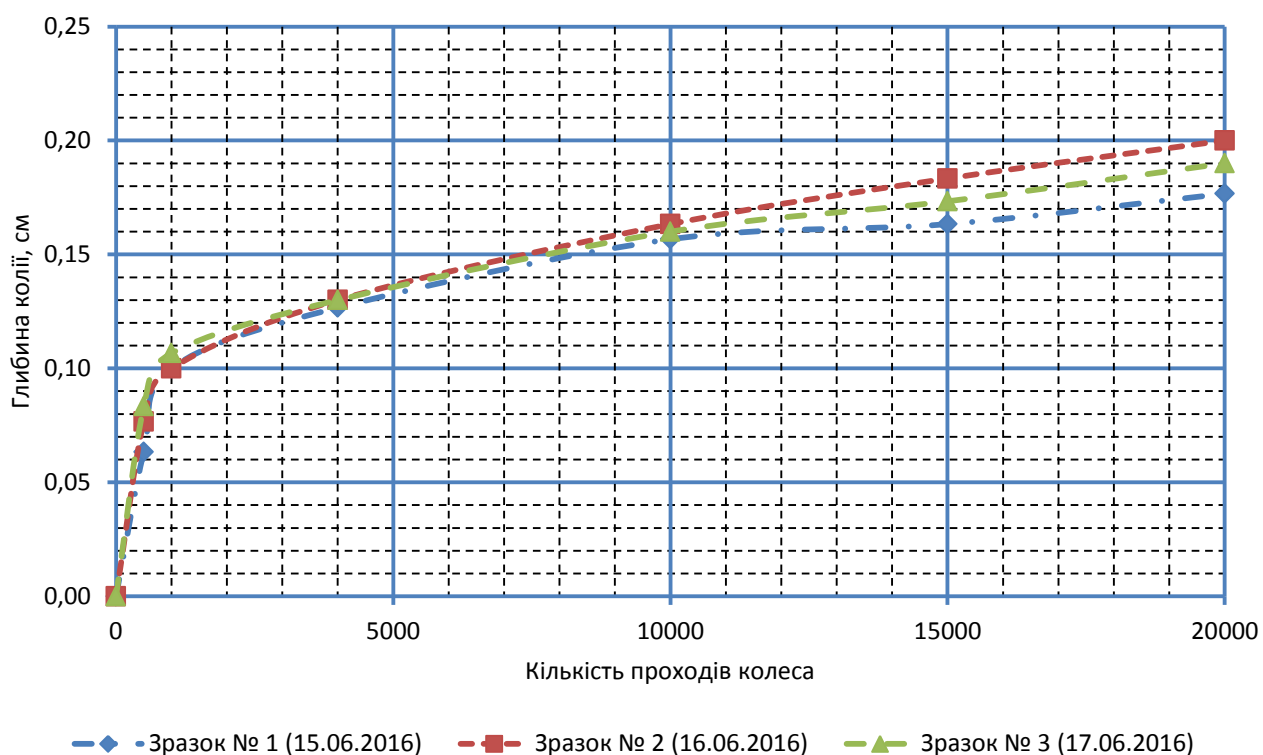


Рисунок 3.19 – Зміна глибини колії, залежно від кількості проходів колеса

Загальний вигляд зразків виготовлених із щебенево-мастикового асфальтобетону після випробування на колієстійкість наведено на рис. 3.20

Аналіз отриманих результатів показав наступне:

- за показником WTS_{AIR} даний матеріал відноситься до категорії $WTS_{AIR0,03}$ (таблиця 13 PN-EN 13108-5), оскільки, кут нахилу кривої колієутворення для кожної із трьох проб окремо становить: $WTS_{AIR1} = 0,0233$,

$WTS_{AIR2} = 0,0267$, $WTS_{AIR3} = 0,034$. Для середнього значення із трьох проб, даний показник (WTS_{AIR}) становить 0,03;

- за показником PRD_{AIR} даний матеріал відноситься до категорії $PRD_{AIR1,0}$ (таблиця 14 PN-EN 13108-5), оскільки, PRD_{AIR} для кожної із трьох проб рівний 0,84; 0,95; 0,90, відповідно. А середнє значення даного показника – 0,90.

- за показником (RD_{AIR}) глибина колії після 10000 циклів становить $RD_{AIR1} = 1,8$ мм, $RD_{AIR2} = 2,0$ мм, $RD_{AIR3} = 1,9$ мм. Середнє значення, отримане на основі випробування 3-х зразків, рівне 1,9 мм.

- За результатами випробувань даний ЩМА відноситься до категорій $WTS_{AIR0,03}$ та $PRD_{AIR1,0}$.



Рисунок 3.20 – Загальний вигляд зразків виготовлених із щебенево-мастикового асфальтобетону після випробування на колієстійкість

Крім стійкості до накопичення залишкової деформації асфальтобетону на колієстійкість асфальтобетонного покриття суттєво впливає міцність на зчеплення при зсуві між асфальтобетонними шарами. Тому для більш

детального аналізу впливу міцності на зчеплення асфальтобетонних шарів, влаштованих на кільцевому стенді, були здійснені лабораторні випробування відібраних кернів з експериментальних секцій. Ці дані свідчать про відсутність належного зчеплення між асфальтобетонними шарами покриття на деяких кернах секцій 3^{11} та 3^{12} . Результати лабораторного визначення міцності на зчеплення при зсуві асфальтобетонних шарів за методикою, наведеною у розділі 3, представлені в таблиці Додатку А.

Коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 1-им і 2-им шаром найвищі на секціях 3^{11} (ЩМА20/ А20), 3^{12} (ЩМА20/ А20), і складають для розрахункових автомобілів групи А1 від 1,23 (1,19) на секції 3^{11} (ЩМА20/А20) підгрунтовка бітумною емульсією до 1,28 (1,23) на секції 3^{12} (ЩМА20/А20) підгрунтовка модифікованою полімер-бітумною емульсією), для розрахункових автомобілів групи А2 – від 1,48 (1,4) на секції 3^{11} (ЩМА20/А20) до 1,54 (1,47) на секції 3^{12} (ЩМА20/А20), значення коефіцієнтів запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві в дужках відповідають випробуванням проведеним повторно, після зсуву.

Дещо нижчими є коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 1-им і 2-им шаром на секції 2^2 (ЩМА10(м)/ЩМА20(м) підгрунтовка бітумною емульсією) для розрахункових автомобілів групи А1 – 1,06(1,03), для розрахункових автомобілів групи А2 – 1,26 (1,23). Низькими виявилися коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 1-им і 2-им шаром на секції 4^1 (А20(м)/А20 підгрунтовка бітумною емульсією) відповідно для розрахункових автомобілів групи А1 – 0,56(0,35), для розрахункових автомобілів групи А2 – 0,69 (0,44), та на секції 2^1 (ЩМА10/ЩМА20 підгрунтовка бітумною емульсією) відповідно для розрахункових автомобілів групи А1 – 0,48(0,46), для розрахункових автомобілів групи А2 – 0,59 (0,56).

Схожі результати по коефіцієнтах запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 2-им і 3-им шаром. Так найвищі коефіцієнти на секціях 3^{11} (А20/А20), 3^{12} (А20/А20), і складають для

розрахункових автомобілів групи А1 від 0,95 (0,97) на секції 3¹¹ (А20/А20) до 1,23 (1,19) на секції 3¹²(А20/А20), для розрахункових автомобілів групи А2 – від 1,16 (1,18) на секції 3¹¹ (А20/А20) до 1,48 (1,41) на секції 3¹²(А20/А20), значення коефіцієнтів запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві в дужках відповідають випробуванням проведеним повторно, після зсуву.

Нижчими є коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 2-им і 3-им шаром на секції 2² (ЩМА20(м)/А20 для розрахункових автомобілів групи А1 – 0,47(0,41), для розрахункових автомобілів групи А2 – 0,58 (0,5), дещо вищі результати на секції 4¹ (А20(м)/А20) для розрахункових автомобілів групи А1 – 0,8 (0,65), для розрахункових автомобілів групи А2 – 0,98 (0,79). Найнижчими виявилися коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між 2-им і 3-им шаром на секції 2¹ (ЩМА20/А20) - для розрахункових автомобілів групи А1 – 0,38 (0,33), для розрахункових автомобілів групи А2 – 0,48 (0,41).

Такі результати дають змогу зробити висновок про те, що найкращі конструктивні та технологічні рішення за коефіцієнтом запасу міцності при зсуві між шарами, де застосовано емульсію, модифіковану полімером, на зчеплених кернах секцій 3¹¹ та 3¹².

Розрахункове граничне напруження при зсуві на секції 3¹¹ між ЩМА20 та А20 при бічному тиску 0,1 МПа в 1,89 раза більше ніж на секції 4¹ при випробуванні на зсув між А20 (м) та А20, у 2,27 раза більше, ніж на секції 2¹ при випробуванні на зсув між ЩМА10 і ЩМА20 і в 1,17 раза більше, ніж на секції 2² при випробуванні на зсув між ЩМА10(м) і ЩМА20(м), а при використанні бічного тиску 0,3 МПа різниця між ними складе відповідно: у 2,05 рази більше на секції 3¹¹ у порівнянні з секцією 4¹, у 2,5 більше на секції 3¹¹ у порівнянні з 2¹ і в 1,15 раза більше ніж на секції 2².

3.4 Числовий аналіз

За допомогою числового аналізу було досліджено особливості напружено-деформованого стану та граничного стану покриття із ЩМА при дії транспортного навантаження за різних температурних умов. Для цього використовували відомі аналітичні рішення, номограми, скінченноелементні програмні комплекси, літературні дані. Був встановлений комплекс факторів, що негативно впливає на довговічність покриття.

В процесі експлуатації покриття у верхній його частині можуть виникати горизонтальні нормальні розтягуючі напруження σ_n , що діють за межами площі контакту пневматика з покриттям (рис. 3.21). Також було з'ясовано, що розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття σ_n безпосередньо під площею контакту пневматика транспортного засобу можуть виникати через роз'єднання покриття з нижніми шарами у результаті появи, при певних умовах, «відривних» вертикальних нормальних напружень (рис. 3.22). Крім того утворення таких напружень σ_n відбувається при певних температурних умовах, коли співвідношення модулів пружності ЩМА і матеріалу склеюючого прошарку та нижнього асфальтобетонного шару (рис. 3.21) становитимуть понад 20. У тому числі цьому сприяє вплив процесу тиксотропії на значне зменшення в'язкості матеріалу склеюючого прошарку при механічній дії на нього транспортного навантаження у літній період року.

Також, безпосередньо такі розтягуючі напруження σ_n завжди виникають при відсутності зчеплення покриття із ЩМА з нижніми шарами, що має місце при порушенні технології будівництва. Крім того, при потраплянні води під покриття у результаті порушення його суцільності, наприклад, при утворенні тріщин за рахунок гідродинамічних ударів при проїзді транспорту (як свідчать відомі дослідження) веде до відшарування покриття, що теж призводить до виникнення напруження σ_n .

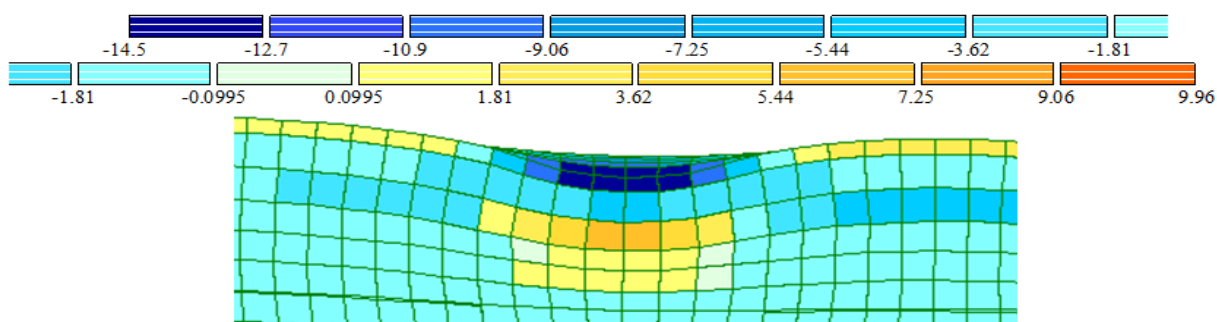


Рисунок 3.21 – Поле розподілення горизонтальних нормальних напружень у конструкції нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА (т/м²)

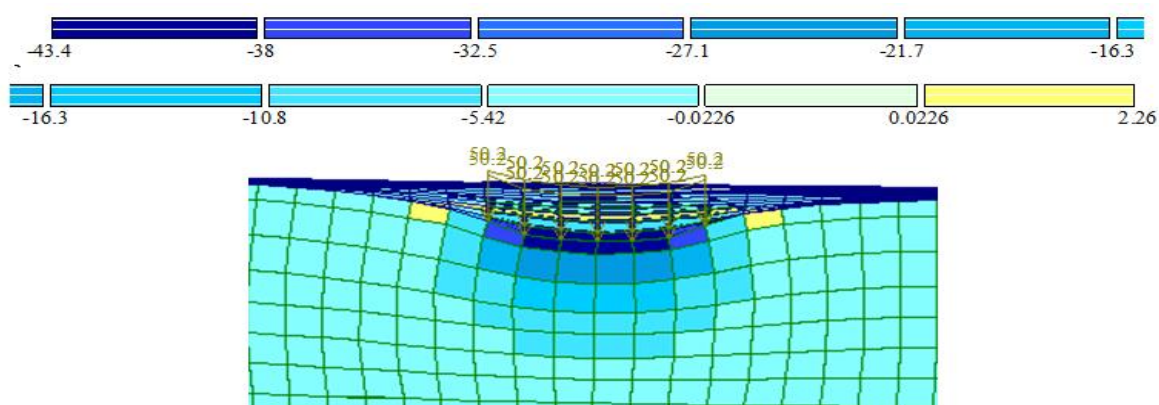


Рисунок 3.22– Поле розподілення нормальних вертикальних напружень у конструкції нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА (т/м²)

3.5 Методи натурного дослідження асфальтобетонного покриття із ЩМА

3.5.1 Прилади та обладнання прийняті для дослідження

При проведенні натурних досліджень для оцінки стану асфальтобетонного покриття використовуються наступні прилади і обладнання.

- для визначення довжин та об'єму тріщин – дорожній курвіметр, штангенциркуль та рулетка.
- для фіксації руйнувань – фотоапарат.
- для відбору проб асфальтобетону із покриття у вигляді кернів та вирубок – прилад алмазного буріння та фрезу.

- для підготовки зразків, відібраних із конструкції дорожнього одягу, до випробування їх обробляли до відповідних розмірів на каменерізному станку.

3.5.2 Методика натурного дослідження асфальтобетонного покриття із ЩМА

Аналіз існуючого стану покриття здійснювався на основі візуального обстеження, яке супроводжувалося фотографуванням стану покриття (найбільш характерних видів руйнування (поперечних тріщин) та нанесенням з допомогою умовних позначень на план дороги видимих дефектів.

Аналіз утворення тріщин в покритті свідчить про те, що однією з причин утворення тріщин в монолітних шарах є порушення експлуатації дорожнього одягу. Утворення тріщин в конструкції дорожнього одягу спричинив автомобільний транспорт внаслідок незабезпечення розрахункових критеріїв міцності дорожньої конструкції. Причиною являється непослідовність укладання шарів конструкції дорожнього одягу з послідуочим відкриттям руху протягом декількох років, при недобудуванні її в цілому, внаслідок чого в розрахунковій конструкції, яка забезпечувала всі критерії міцності – почали утворюватися поперечні тріщини.

Їх поява найбільш ймовірно пов'язана з відображеним характером за рахунок копіювання тріщин основи, укріпленої цементом. Згідно з чинними нормативними документами П-Г.1-218-113, ГБН Г.1-218-182, ВБН Г.1-218-050, поява тих чи інших видів окремих дефектів у незначній кількості повинна ліквідуватись під час експлуатаційного утримання за рахунок відповідних ремонтних заходів. В такому випадку герметизація покриття при утворенні вказаних волосяних тріщин також повинно відноситись до таких заходів. Існуюча практика герметизації поперечних тріщин на асфальтобетонному покритті свідчить, що їх зручніше розшивати і заповнювати мастикою, коли вони мають ширину розкриття більш як 3-5 мм. До цього моменту, при забезпеченому водовідведенні з поверхні покриття, потрапляння води у конструкцію дорожнього одягу та ґрунту земляного полотна не призводить до

помітних деструктивних впливів. Тому згідно П-Г.1-218-113 доцільно виконати відповідні операції з розшивки тріщин і заповнення їх мастикою.

При наявності великих тріщин (більше ніж 5 мм) чи дефектів необхідно використовувати спосіб вифрезеровки пошкоджень, з подальшим використанням литого асфальтобетону чи ЩМА.

Таким чином, отримані дані в результаті проведених натурних досліджень свідчать про суттєвий вплив часу дії навантаження на тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах. Виявлено вплив таких основних факторів на інтенсивність утворення тріщин:

- транспортний фактор (інтенсивність та склад руху, розподіл коліс транспортних засобів по ширині проїзної частини);
- кліматичний фактор (середня температура регіону, амплітуда коливань температур);
- конструктивно-матеріалознавсько-технологічний фактор (види матеріалів, їх розташування в конструкції дорожнього одягу, співвідношення їх товщин);

Для повнішого визначення закономірностей впливу таких різних факторів на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів натурні експерименти мають свої недоліки, а саме недостатню оперативність отримання інформації, значну тривалість часу необхідного для спостереження за впливом тих чи інших факторів та трудомісткість отримання достовірних результатів. Тому більш точний та детальний аналіз впливу різних факторів на довговічність асфальтобетонних шарів із ЩМА виконувався при проведенні експериментальних досліджень та числового аналізу.

Результати натурного дослідження асфальтобетонного покриття із ЩМА в Додатку А.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Методика проектування дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону

Розробка даної методики обумовлена необхідністю підвищення довговічності дорожнього покриття. Це вирішується за рахунок застосування для покриття щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) раціонального конструювання дорожнього покриття.

Тут під конструюванням мається на увазі вибір різновидів матеріалів і раціональне розміщення шарів таким чином, щоб найкраще використати механічні і теплофізичні властивості матеріалів і забезпечити довговічність, технологічність та економічність як конструкції всього дорожнього одягу так і покриття.

Відомо, що використання щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) для влаштування покриття дорожнього одягу забезпечує його високу зсувостійкість, а також стійкість до утворення тріщин та водо- і морозостійкість.

Особливістю ЩМА є підвищена кількість бітуму. Це створює відносно товсті плівки бітуму на поверхні мінеральних частинок заповнювачів, які навіть після тривалої експлуатації запобігають швидкому старінню, а також стримують тріщиноутворення.

Склад і структура ЩМА визначають його експлуатаційні властивості. ЩМА особливо придатний для застосування у покриттях доріг при інтенсивному русі важких транспортних засобів, при повільному їх русі та русі з частими прискореннями та гальмуваннями, а також при заторах та довготривалій дії високих температур і при інтенсивному сонячному випроміненні.

ЩМА широко застосовується в зарубіжних країнах з урахуванням особливостей проектування та будівництва автомобільних доріг що використовуються в цих країнах.

Для умов України зарубіжний досвід проектування дорожнього покриття із ЩМА не може бути повністю застосований у зв'язку з тим, що використовуються різні методи і алгоритми розрахунку всієї конструкції дорожнього одягу на міцність, різні коефіцієнти запасу міцності, різні вимоги до технології і якості влаштування земляного полотна, основи і покриття та інше. Крім того, відмінність кліматичних і ґрунтово-геологічних умов, та відмінність у вихідних складових ЩМА потребує свого підходу до забезпечення ефективного застосування.

Тому є необхідність вдосконалити методику проектування дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із ЩМА. Важливою складовою проектування дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із ЩМА є процес конструювання.

В методиці враховано вітчизняний досвід, що базується на узагальненні та аналізу власних результатів виробничого відпрацювання рецептів, будівництва дослідних ділянок, проектування конструкцій дорожнього одягу та авторського нагляду при застосуванні ЩМА в різних регіонах, на різних категоріях доріг, а також при спостереженні поведінки покриття із ЩМА на дослідних ділянках та на випробувальному стенді ДНТЦ „Дор'якість”.

Таке узагальнення дозволило розробити концептуальні положення методики конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону, що полягають в наступному.

Методика конструювання складається із таких основних етапів:

- збір вихідних даних про кліматичний район проектування, транспортне навантаження, види і номенклатуру компонентів для щебенево-мастикового асфальтобетону, дані про земляне полотно і основу дорожнього одягу;
- проектування оптимального складу щебенево-мастикового асфальтобетону та встановлення його термореологічних характеристик;
- конструювання основи;

- конструювання раціональних варіантів покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону.

При зборі вихідних даних про кліматичний район проектування встановлюють такі кліматичні характеристики: літня та зимова температури покриття, кількість переходів температури через 0 °С, річна кількість опадів. При зборі вихідних даних про транспортне навантаження встановлюють інтенсивність та склад руху, а також режим його дії (швидкість руху, час дії навантаження). При зборі вихідних даних про основу дорожнього одягу встановлюють вид ґрунту земляного полотна, умови його зволоження, розрахункову вологість, види матеріалів і товщини шарів, а також їх термореологічні характеристики.

Проведені дослідження дозволили розробити методику проектування складу ЩМА з урахуванням його термореологічних властивостей та вимог нормативних документів.

Проектування оптимального складу ЩМА здійснюють в три етапи:

- а) визначають якість мінеральних матеріалів і бітуму, відповідність їх властивостей встановленим вимогам;
- б) встановлюють співвідношення мінеральних матеріалів, при якому мінеральна частина асфальтобетону має оптимальну щільність за нормативними кривими зернового складу;
- в) експериментально чи теоретично визначають оптимальний вміст бітуму та мікрОВОЛОКОН, при якому асфальтобетон має найкращі фізико-механічні та технологічні властивості.

При проектуванні складу для ЩМА використовують високоякісний щебінь з обмеженою кількістю пластинчатих та лещадних зерен, дроблений пісок, мінеральний порошок, дорожній бітум і стабілізуючі волокна.

Зерновий склад мінеральної частини ЩМА повинен відповідати існуючим вимогам чинних нормативних документів.

Встановлення термореологічних характеристик ЩМА (функція релаксації, функція температурно-часової аналогії, функція довговічності) здійснюють експериментально-теоретичним методом.

Опираючись на положення теорії термо-в'язко-пружності та теорії кінетичної міцності твердих тіл передбачено застосовувати аналітичні залежності, що дозволяють визначати відповідні термореологічні характеристики на основі відомих літературних даних та результатів експерименту.

Функцію релаксації $R(t)$ визначають із прямих дослідів релаксації, із дослідів на повзучість та із дослідів по визначенню модуля пружності при різному часі дії навантаження.

Параметри функції температурно-часового зміщення отримують із дослідів на релаксацію.

Параметри функції довговічності отримують прямими дослідями на довготривалу повзучість при постійному навантаженні або при постійній швидкості росту навантаження.

Конструювання основи дорожнього одягу складається з декількох етапів:

- призначення кількості конструктивних шарів основи (додаткової основи);
- розміщення шарів у конструкції і попереднє призначення їх товщин;
- попередня оцінка необхідності призначення додаткових морозозахисних заходів з урахуванням дорожньо-кліматичної зони, типу ґрунту робочого шару земляного полотна та схеми зволоження робочого шару на різних ділянках;
- попередня оцінка необхідності призначення заходів для осушення конструкції, а також для підвищення тріщиностійкості конструкції;
- оцінка доцільності зміцнення чи поліпшення верхньої частини робочого шару земляного полотна.

Конструкція основи дорожнього одягу повинна задовольняти транспортно-експлуатаційні вимоги, які ставляться до дороги певної категорії з

очікуваним у перспективі складом й інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримання.

Конструкція основи повинна бути технологічною й забезпечувати можливість максимальної механізації й автоматизації дорожньо-будівельних процесів. Для досягнення цієї мети кількість шарів і видів матеріалів у конструкції повинна бути мінімальною.

З метою більш ефективного використання матеріалів при конструюванні основи слід керуватися принципами раціонального конструювання дорожнього одягу, сформульованими Б.С. Радовським, які включають:

- раціональний розподіл матеріалів по глибині, що визначає розміщення найбільш міцних дорожньо-будівельних матеріалів в найбільш напружених зонах конструкції;
- раціональний розподіл матеріалів по ширині проїзної частини, пов'язаний з урахуванням нерівномірності дії навантаження;
- раціональне конструювання в залежності від зміни умов роботи дорожнього одягу в часі, що базується на врахуванні умов роботи дорожнього одягу в річному циклі та в процесі всього строку служби.

Конструювання дорожнього покриття із ЩМА є найбільш важливим і відповідальним етапом проектування дорожньої конструкції.

При конструюванні покриття необхідно враховувати реальні умови проведення будівельних робіт (літня чи зимова технологія і т. ін.) і досвід служби доріг у конкретному заданому районі.

Покриття – це верхня частина дорожнього одягу, яка складається з одного постійного шару або двох шарів: постійного (нижнього) і тимчасового (верхнього). При двошаровому покритті нижній шар необхідний для забезпечення рівності, а верхній, періодично поновлюваний, для підтримки шорсткості (шар зношування), зменшення рівня шуму, недопущення застою води на поверхні. Щоб зберегти шорсткість, матеріал покриття повинен бути стійким до зношування. Для забезпечення рівності матеріал покриття повинен

протистояти накопиченню деформацій зсуву у літню пору (хвиль, напливів, колій) та запобігати проникненню поверхневої води до основи. Покриття повинне бути міцним при високій температурі й вологості, а також стійким до повторного охолодження-нагрівання.

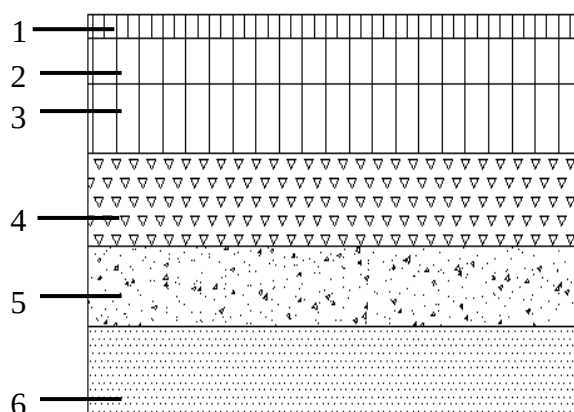
Використовуючи дану методику було розроблено конструкції дорожнього одягу для магістральних доріг з рухом великовантажного транспорту з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону (рис. 4.1 – 4.3).

Згідно з теоретичними положеннями проектування шарів з ЩМА можна виконувати у такій послідовності:

1. Проводимо інструментальне та візуальне обстеження автомобільної дороги чи вулиці.

2. Виконуємо відбір потрібних матеріалів з існуючої конструкції дорожнього одягу для визначення всього комплексу розрахункових та термореологічних показників для оцінки стану дорожнього одягу.

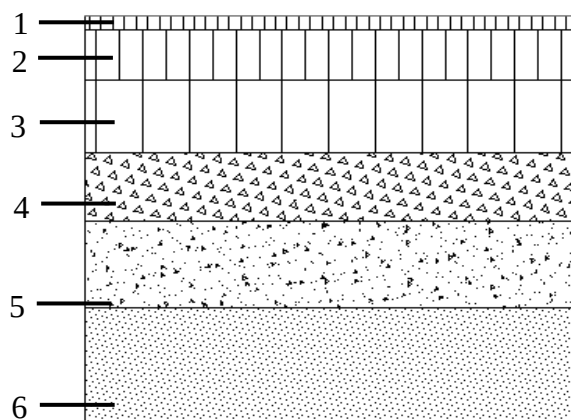
Конструкція № 1



- 1 – щебенево-мастиковий полімерасфальтобетон; 2 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. Щ. НП.І.;
3 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. Щ. НП.І.; 4 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. Б. П.І.; 5 –
цементобетон марки В 7,5; 6 – піщана суміш укріплена цементом марки 50.

Рисунок 4.1 – Конструкція дорожнього одягу з покриттям із ЩМА

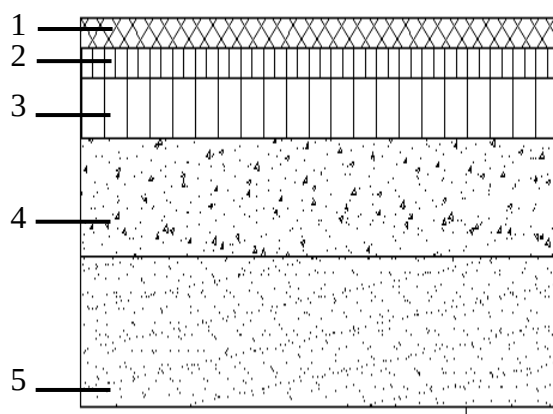
Конструкція № 2



1 – щебенево-мастиковий полімерасфальтобетон; 2 – асфальтобетон АБ. Кр. Щ. Б. НП.І., армований сіткою Хателіт-С; 3 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. П. Б. НП.І.; 4 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. П. Б. НП.І.; 5 – цементобетон марки В 7,5; 6 – відсів укріплений цементом.

Рисунок 4.2 – Конструкція дорожнього одягу з покриттям із ЩМА

Конструкція № 3



1 – ЩМА 15; 2 – асфальтобетон АБ Др. Щ. Б. НП. І.; 3 – асфальтобетон АБ НШ. Кр. Щ. НП.І.; 4 – цементобетон В 30; 5 – пісок середньої крупності.

Рисунок 4.3 – Конструкція дорожнього одягу з покриттям із ЩМА

3. Встановлення складу та інтенсивності руху транспортних засобів на даній автомобільній дорозі та вулиці.

4. Встановлення кліматичних параметрів району реконструкції чи будівництва даної автомобільної дороги чи вулиці (річну і добову швидкість зниження температури, річну і добову початкову температуру охолодження, тощо).

5. Призначення терміну служби шару з ЩМА з урахуванням категорії автомобільної дороги чи вулиці, а також міжремонтних термінів.

6. Призначення декількох типів шарів з ЩМА та їх товщини з урахуванням складових матеріалів шару з ЩМА.

6.1. Визначення фізико-механічних властивостей складових матеріалу шарів з ЩМА.

6.2. Визначення фізико-механічних властивостей матеріалу призначених шарів з ЩМА.

6.3. Визначення розрахункових характеристик та термореологічних показників матеріалу призначених шарів з ЩМА (функцію релаксації, функцію температурно-часового зміщення, коефіцієнт лінійного розширення, параметри функції довговічності).

7. Визначення розтягуючих напружень в призначених шарах з ЩМА при дії транспортних засобів.

8. Визначення розтягуючих напружень в призначених асфальтобетонних шарах з ЩМА при зниженні температури.

9. Оцінка граничного стану призначених шарів з ЩМА при спільній дії транспортних засобів та зниженні температури та основі цього визначення терміну служби кожного призначеного шару ЩМА.

10. Якщо визначена довговічність (термін служби) призначених шарів (шару) з ЩМА перевищує нормативне значення то зменшують товщини (товщину) шарів (шару) до мінімально можливого значення для виконання даної умови. В разі не виконання даної умови призначають нові типи (тип) шарів з ЩМА і виконують нові (новий) розрахунки (розрахунок).

11. Якщо визначена довговічність (термін служби) призначених шарів (шару) з ЩМА менша нормативного значення то збільшують товщини (товщину) шарів (шару) до максимально можливого значення для виконання даної умови. В разі не виконання даної умови призначають нові типи (тип) шарів з ЩМА і виконують нові (новий) розрахунки (розрахунок).

12. Якщо не має можливості призначення нових матеріалів (наприклад відсутність складових необхідної марки та т.д.) то зменшують термін служби кожного з призначеного асфальтобетонного шару до мінімального можливого значення і виконують розрахунок зі зменшеним терміном служби.

4.2 Заходи з підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття

Отримані результати досліджень і виконаних розрахунків дали змогу удосконалити на практиці різні заходи зі зменшення температурних напружень і підвищенню температурної тріщиностійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття.

Умовно ці заходи можна розділити на три категорії:

1. Матеріалознавчі. Вони передбачають регулювання складу і властивостей асфальтобетону з метою підвищення міцності і витривалості.

2. Технологічні. Заходи, спрямовані на вплив параметрів технології випуску транспортування та укладання ЦМАС, які зменшують ризик факторів, що призводять до передчасного порушення суцільності покриття, а також спрямовані на застосування додаткових заходів з контролювання дотримування технологічно-рецептурних параметрів.

3. Конструктивні. Передбачають застосування принципів конструювання дорожнього одягу, направлених на підвищення довговічності покриття із ЦМА.

Нижче наводяться найбільш ефективні заходи, застосування яких на практиці дозволить підвищити температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття автомобільних доріг.

1. Застосування модифікованого бітуму з підвищеною деформативністю, когезійною та адгезійною міцністю.

2. Застосування в асфальтобетоні оптимального вмісту бітуму за температурною тріщиностійкістю.

3. Використання бітуму з індексом пенетрації від 0 до +1.

4. Використання асфальтобетону із верхньою допустимою межею залишкової пористості при впровадженні заходів з забезпечення поверхневої гідроізоляції. Застосування дренуючого асфальтобетону в нижньому шарі покриття з використанням у верхньому шарі щільного асфальтобетону підвищеної тріщиностійкості.

5. Зменшення різниці коефіцієнтів лінійного температурного деформування асфальтобетону і нижче лежачих шарів за рахунок направленою регулювання складу асфальтобетону.

6. Збільшення механічної міцності та витривалості асфальтобетону.

7. Армування асфальтобетону синтетичними сітками.

8. Влаштування температурних швів в асфальтобетонному покритті (з обов'язковою їх герметизацією еластичними матеріалами) для зменшення рівня температурних напружень.

9. Проведення попереджувальних технологічних заходів з відновлення початкової ушкодженості структури асфальтобетону після певної дії температурних напружень (наприклад, шляхом додаткової пластифікації та попереднього розігріву й інтенсивного ущільнення).

10. Раціональне застосування видів і послідовностей ремонтів асфальтобетонного покриття після утворення температурних тріщин з метою відновлення монолітності покриття і його гідроізоляційної здатності.

11. Застосування підігріву покриття в холодну пору року для зменшення температурних напружень і накопичення пошкодженості структури асфальтобетону.

Напрямки підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття

Отримані результати досліджень і оцінка ефективності існуючих способів підвищення тріщиностійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття дозволяє виділити найбільш ефективні прийоми забезпечення їх довговічності. Вони розділені на дві основні групи: перша група – забезпечення

довговічності на рівні виконання проектних робіт (при конструюванні регулювати склад і властивості асфальтобетону і його компонентів з метою підвищення міцності і витривалості на різних ділянках, застосування якісно нових матеріалів для підвищення тріщиностійкості, застосовувати раціональне конструювання дорожнього одягу з метою зниження розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті); друга група – забезпечення довговічності на рівні виконання робіт по утриманню автомобільних доріг (організовувати візуальне обстеження ділянок, що експлуатуються, визначати ресурс ділянок, що експлуатуються та інше).

При забезпеченні довговічності на рівні виконання проектних робіт необхідним є:

- врахування напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу та механічної поведінки асфальтобетону, що значною мірою залежить від часу дії навантаження;
- визначення напружено-деформованого стану монолітного покриття, розташованого на основі з різною зміною модуля пружності по глибині;
- визначення розрахункової інтенсивності руху транспортних засобів міських вулиць і доріг;
- забезпечення раціонального співвідношення між товщинами покриття і основи;
- уточнення розрахункових температур при розрахунку дорожнього одягу;
- при призначенні часу дії навантаження враховування зменшення тривалості дії навантаження внаслідок зменшення середньої швидкості руху у порівнянні із дорогами загального користування;
- застосування бітумів модифікованих термоеластопластичними та термопластичними полімерами;
- застосування оптимального по тріщиностійкості вмісту полімербітумного в'язучого;

- армування асфальтобетонного покриття синтетичними сітками;
- використання в основах конструкцій матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими з тріщиноперериваючими прошарками.

При забезпеченні довговічності на рівні виконання робіт по утриманню автомобільних доріг необхідно:

- постійно організовувати візуальне обстеження ділянок, що експлуатуються;
- визначати ресурс асфальтобетонного покриття на цих ділянках;
- на основі результатів визначення ресурсу покриття призначати цілеспрямовані заходи щодо відновлення міцності покриття.

4.3. Методика випробувань ЩМАС, що дозволяє імітувати вплив транспортування

На основі дисертаційних досліджень розроблено методику експериментального оцінювання впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЩМА. Вона полягає у перевірці коефіцієнта однорідності ЩМАС за показником стікання в'язучого на початку випуску нової партії суміші, а також коефіцієнта тиксотропії залежно від умов транспортування.

Суть методу визначення показника стікання в'язучого по ДСТУ Б В.2.7-127 [15] полягає у зважуванні залишку бітумного в'язучого після перекидання склянки з сумішшю, яка була витримана в сушильній шафі протягом 60 хвилин при температурі 170° С. Мірою стікання є маса залишків бітуму на склянці після видалення з нього ЩМАС, виражена у відсотковому відношенні від маси ЩМАС.

Дана методика оцінки показника стікання не повною мірою відображає реальні умови зберігання і транспортування ЩМАС, і фактично імітує тільки, певною мірою, умови зберігання ЩМАС і не відображає умов транспортування.

Тому для аналізу впливу умов транспортування на розшарування суміші були проведені дослідження, які полягали в створенні коливань проб ЩМАС, подібних коливанням суміші в кузові транспортного засобу.

Для дослідження впливу динамічних коливань при транспортуванні ЩМАС на її розшарування використовували стандартну методику визначення показника стікання в'язучого по ДСТУ Б В.2.7-127 [15] з деякими удосконаленнями, які дають можливість імітувати вібрації схожі за своїми амплітудно-частотними характеристиками коливання кузова автосамоскиду. При проведенні випробувань з метою імітації часу транспортування, створювали відповідний час впливу динамічних коливань протягом певних періодів, які становлять 30, 60 і 120 хвилин.

Удосконалення методики визначення показника стікання полягає в наступному: для імітації вібрації в кузові автосамоскида при транспортуванні ЩМАС термостійкий стакан, попередньо теплоізолюваний, піддавали вібрації, після чого стакан розміщували в сушильну шафу, нагріту до температури випробування, і витримували протягом заданого часу. Режим випробування наступний: термоізолюваний стакан піддають дії 30 коливань відразу після заповнення сумішшю, після чого термостатують в сушильній шафі при температурі випробування протягом 15 хвилин, потім знову піддають дії 30 коливань, знову термостатують. Аналогічні операції повторюють кожні 15 хвилин, протягом заданого часу випробування (30, 60 і 120) хвилин, за умови, що після останнього впливу 30 коливань стакан з сумішшю розміщають в сушильну шафу і витримують 15 хвилин при температурі випробування з подальшим видаленням ЩМАС зі стакана. Потім визначали показник стікання згідно зі стандартною методикою [15].

Амплітудно-частотні характеристики коливання проби ЩМАС змінювали за допомогою амортизаційних систем платформи, на якій закріплювався теплоізолюваний стакан з пробой ЩМАС. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик вібрації виконували за допомогою комплексу вимірювання прискорення і тензометричного комплексу. Під час

випробувань застосовували найбільш характерні параметри коливань стаканів з пробами ЦМАС, що відповідають коливанням завантаженого кузова автомобіля: частота коливань від 6 до 10 Гц, максимальне прискорення становить близько 4...5 g.

Приготування асфальтобетонних сумішей виконували з дотриманням стандартної послідовності технологічних операцій та рекомендацій згідно з нормативними документами.

Під час випробувань ЦМАС на розшарування окремо витримували проби як при статичних, так і при динамічних впливах при різних температурах випробувань, а також при їх комбінації. Після проведених випробувань за методикою ДСТУ Б В.2.7-127 визначали показник розшарування.

Аналіз результатів випробувань свідчить про вплив на показник стікання як тривалості часу витримання ЦМАС в статичних умовах, так і, особливо, режиму витримання при динамічних коливаннях.

Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги (враховуючи максимальні терміни зберігання в накопичувальному бункері дві години і транспортуванні також дві години згідно ДСТУ Б В.2.7-127) до показника розшарування в'язучого ЦМАС в залежності від часу витримки в накопичувачі і часу транспортування, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення показника стікання в'язучого залежно від часу зберігання в накопичувачі та часу транспортування

Час витримання суміші в накопичувачах, год.	Час транспортування суміші, год.	Показник стікання в'язучого, % за масою, не більше
0,5, не більше	від 0,5 до 1,0 включно	0,14
0,5, не більше	від 1,0 до 2,0 включно	0,10
від 0,5 до 1,0 включно	0,5, не більше	0,16
від 0,5 до 1,0 включно	від 0,5 до 1,0 включно	0,12
від 1,0 до 2,0 включно	від 1,0 до 2,0 включно	0,08

Уточнення показника розшарування щебенево-мастикової суміші від термінів її зберігання і транспортування дозволить подовжити терміни служби дорожнього покриття з щебенево-мастикового асфальтобетону завдяки

усуненню таких дефектів, як бітумні плями, викришування, лущення і, як наслідок, збільшити міжремонтні терміни, що забезпечить значну економію фінансових і матеріальних ресурсів.

Також запропоновано визначати однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші на основі аналізу коефіцієнта варіації показника стікання в'язучого щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші при відпрацюванні технології виготовлення.

При визначенні показника однорідності ЩМАС згідно [15] за коефіцієнтом варіації границі міцності на стиск при 50 °С об'єм вибірки повинен складати не менше 20 значень і призначатися за кількістю випробуваних проб за період між періодичними випробуваннями.

Це свідчить про те, що таким показником однорідності неможливо оперативно скористатися під час приймально-здавального контролю. Крім того, характеристика міцності на стиск при 50 °С проби з суміші, яка тільки відібрана після її приготування не має можливості об'єктивно відобразити стійкість до розшарування при зберіганні в бункері, вивантаженні в транспортний засіб для транспортування та укладання.

Зважаючи на вище сказане пропонується визначати однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші за показником стікання, а саме методом статистичної обробки значень показника стікання в'язучого щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, який повинен бути не більше ніж 0,20 % за масою. Для цього відбирають 10 локальних проб сумішей в окремих місцях кузова автосамоскида вагою від 2 кг до 3 кг кожна.

Для кожної проби визначають показник стікання в'язучого [15], після чого визначають коефіцієнт варіації для оцінки однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші. Такий метод оцінки однорідності доцільно використовувати як показник однорідності при підборі складу суміші та періодичному контролі якості, він є досить інформативним та набагато оперативнішим ніж метод наведений в нормативному документі [15].

Удосконалено методику експериментального визначення показника зчеплення покриття з основою, яка полягає у використанні заданого комплексного впливу горизонтальних та вертикальних навантажень на керн, відібраний із дорожнього об'єкта з верхнім шаром із ЩМА. Після цього зразок піддається водоморозним впливам і випробовується на розтяг. Це дозволяє краще імітувати дію транспортних та кліматичних факторів та оцінити їх вплив на роз'єднання покриття із ЩМА із нижніми шарами.

4.4 Оцінювання економічної ефективності застосування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття

Економічну ефективність оцінювали відповідно до основних положень МР Г.1-37641918-890:2017 «Методичні рекомендації з визначення інтегрального показника соціально-економічного ефекту від спрямованих фінансових ресурсів на потреби дорожнього господарства», згідно яких Основним критерієм ефективності будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг має бути співвідношення сумарних ефектів в результаті впровадження інвестиційного проекту до сумарних витрат на його реалізацію.

Соціальний ефект полягає у зменшенні кількості ремонтних втручань під час утримання автомобільної дороги, що в свою чергу зменшує кількість заторів та час перебування транспортних засобів на автомобільній дорозі та сприяє підвищенні безпеки руху від зниження втрат від зменшення кількості ДТП.

Економічна ефективність застосування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття досягається за рахунок підвищення довговічності покриття шляхом зменшення витрат на ремонтні заходи протягом терміну служби. Приклад визначення економічної ефективності застосування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття наведено у Додатку Б.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає в удосконаленні проектування покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону нежорсткого дорожнього одягу. Це дозволило отримати нові наукові результати для точнішого прогнозування довговічності покриття із ЩМА та забезпечувати отримання більш економічних рішень при проектуванні та будівництві дорожнього одягу автомобільних доріг і вулиць.

1. У роботі виконано аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування щебенево-мастикового асфальтобетону та підвищення довговічності асфальтобетонного покриття із ЩМА нежорсткого дорожнього одягу, проаналізовано результати відомих вчених, підтверджена актуальність дисертаційних досліджень. Розглянуті особливості структури ЩМА та експлуатаційні якості дорожнього покриття, виконано аналіз умов роботи й характеру руйнування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття. Встановлено, що не достатньо вивчені питання стосовно особливостей застосування ЩМА у вітчизняних умовах, а також неповно враховано комплексну дію факторів, що впливають на довговічність дорожнього покриття із ЩМА.

2. На основі проведеного аналізу умов роботи та характеру руйнування покриття із ЩМА прийнята робоча гіпотеза забезпечення його довговічності, розроблена розрахункова схема, на основі застосування положень кінетичної теорії міцності твердих тіл з урахуванням термо-реологічних властивостей отримані аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності покриття при спільній дії факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого, водоморозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. Це все дає можливість підвищити точність

прогнозування довговічності покриття із ЩМА.

3. Використовуючи експериментальні випробування і відомі літературні дані встановлено розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття (функція релаксації, функція температурно-часового зміщення, функція довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування), що дає можливість здійснювати числовий аналіз впливу різних факторів на довговічність покриття із ЩМА.

4. Проведені лабораторні, стендові та натурні дослідження і числовий аналіз дозволили встановити кількісний та якісний вплив деструктивних факторів на довговічність покриття із ЩМА. Так з'ясовано: розтягуючі горизонтальні нормальні напруження можуть з'являться у покритті із ЩМА в теплу пору року і зменшувати його довговічність більше ніж у 2 рази; вплив коливань кузова при транспортуванні ЩМАС може призводити (залежно від її рецепту та часу транспортування) до збільшення показника стікання в'язучого у 2 – 7 разів, що призводить до утворення локальних зон на покритті з недостатньою кількістю в'язучого, де коефіцієнти водостійкості та морозостійкості можуть зменшуватись більше ніж на 20 – 40 %. Отримані результати дозволили встановити основні закономірності комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття.

5. Розроблено метод проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону нежорсткого дорожнього одягу, який дозволяє за рахунок повнішого враховування термореологічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону та урахування характерних особливостей порушення його суцільності точніше прогнозувати довговічність покриття.

6. За результатами аналізу впливу дії основних факторів на порушення суцільності покриття із ЩМА удосконалено заходи з підвищення його довговічності. Їх застосування дозволяє на стадії конструювання

дорожнього одягу, його розрахунку, проектування рецептурно-технологічних параметрів та контролю якості технологічних процесів направлено регулювати довговічність покриття із ЩМА.

7. Розроблено методику випробувань ЩМАС, що дозволяє імітувати вплив транспортування. Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги до показника розшарування в'язучого ЩМАС залежно від умов транспортування.

8. Застосування результатів досліджень впроваджено при розробленні 14-ох нормативних документів і підтверджено відповідними довідками із таких організацій: КК «Київавтодор», Державне агентство автомобільних доріг України («Укравтодор»), ТОВ «СБМУ «Підряд», ПрАТ «Асфальтобетонний завод» та інших організацій. Також результати досліджень було використано у навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.
2. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю., Нимчук К. И. Выбор энергосберегающих добавок для расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода с щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 90. С.49-56.
3. Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговий В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Одеса. 2016. Вип. 63. С.167-173.
4. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ващіліна О.В., Лебедева І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.
5. Баран С.А., Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. Київ. 2019. Вип. 1 (43). С. 26-38.
6. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Дорожня техніка. – 2007. – С. 28-41.
7. Курс лекцій з навчальної дисципліни “Основи механіки земляного полотна і дорожнього одягу” за ред Б.С. Радовського, 1994.
8. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
9. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.

10. Ш. Шульц Технология щебеночно-мастичного асфальта, CFF GmbH & Co/ KG.
11. Юрген Хученройтер, Томас Вернер Щебеночно-мастичный асфальтобетон: основные понятия, структура, состав, свойства, опыт применения. Автомобильные дороги, №4, 2002, С. 40-42.
12. Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство "Элит"». - 2009. 176 с. илл.
13. Krzystov Blazejowski. SMA. Teoria I praktyka. 2007.
14. Asphaltstraßen. ZTV Asphalt - StB 94.
15. ДСТУ Б В.2.7-127-2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови.
16. Финские нормы на асфальт 2000: Совещательная комиссия по покрытиям PANKry, Хельсинки (Finish Specifications for asphalt 2000: Advisory commission on pavements PANKry, Helsinki)
17. Американская ассоциация государственных автомобильных дорог и транспорта. Стандартная практика: проектирование щебенево-мастичного асфальтобетона (ЩМА). AASHTO D: PP 41-02 (AASHTO D: PP 41-02 1 Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA)).
18. Л.Б. Гезенцевей і ін. Дорожній асфальтобетон. М, Транспорт, 1976 р.
19. Золоторев В.А. Дорожные вяжущие и асфальтобетоны. Часть 2. Дорожные Асфальтобетоны: Учебник/ В.А. Золотарев. – Харьков: ХНАДУ, 2016. – 204 с.: илл., табл.
20. Патент України на корисну модель № 97477 Україна, МПК (2015.01) C04B 26/00 Високоміцний щебенево-мастиковий асфальтобетон / Золотарьов В. О., Маляр В. В. Дата реєстрації 10.03.2015.
21. Баран С.А., Куцман А.Н., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В. и др. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2015. Вип. 55. С. 20-26.

22. Радовский Б. С. Концепция вечных дорожных одежд // Дорожная техника. Каталог-справочник 2011. С. 120-132.
23. Мішутін А. В., Смолянець В. В., Даценко В. М. Аналіз стану покриття на транспортних спорудах України // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 93. С. 263-272.
24. Веренько В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий причины и пути устранения. Минск, 2008. 304 с.
25. Воловик О. О. Підвищення стійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг до утворення колії : дис... канд. техн. наук. Х., 2016. 148 с.
26. Дмитриченко М. Ф., Дмитрієв М. М., Деркачов О. Б. Теплова діагностика (основи теорії та практики застосування) : монографія. К. : НТУ, 2012. 168 с.
27. Дмитриченко М.Ф.,Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Якименко Я. М., РайковськийВ.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки «Буд-во».К.: НТУ, 2012. 216с.
28. Павлюк Д.О., Лебедєв О.С., Кизима С.С., Булах Є.О., Глуховеря В.М. (НТУ), Іващенко А.П., Русин Р.М., Собачко С.М., Богданенко А. М. Кореляційні випробування засобів оцінки міцності дорожніх конструкцій // Автошляховик України. –2008. –№ 2. –С. 26–33.
29. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис...докт. техн. наук.К., 2005.370 с.
30. Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг: дис...канд. техн. наук.К., 2011.177 с.
31. Дорожко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі:дис... канд. техн. наук. Х., 2016. 280 с.
32. Островерхий О.Г. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів. – Автореферат дис. Канд. Техн.. наук за

спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет, Київ, 2002.

33. Гамеляк І.П., Волощук Д.В. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення // Вісник Національного транспортного університету, 2014. – № 26 (1). – С. 52 – 57.

34. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Издательство при ХГУ издательского объединения "Высшая школа", 1977. – 114 с.

35. Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств : Дис. докт. техн. наук.-Харьков, 1982.-575 с.

36. Золотарев В.А. Дорожные асфальтобетоны. Избранные труды. Том 3 // Санкт-Петербург: Славутич, 2015. – 184 с.

37. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтовый бетон.- Киев: Высш. школа, 1975.-155 с.

38. Мерзликин А.Е. О влиянии основания из зернистых материалов на напряжения в асфальтобетонном покрытии // Дороги и мосты. – 2015. № 3, Т. 1. – С. 149-162.

39. Мерзликин А.Е., Капанадзе И.И., Мозговой В.В. Долговечность асфальтобетонных покрытий на участках с периодическим замедлением движения транспортных средств. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова № 1(51). – Бишкек, 2016. – С. 113-117.

40. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 1996.– 406 с.

41. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Гайдачук В.В., Густелєв О.О., Засєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатопарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.

42. Онищенко А.М. Теоретичні основи розрахунку асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах та методи підвищення колієстійкості: Дис. докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 2017.– 434 с.
43. Павлюк Д.О. Основи та застосування теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 1996.– 475 с.
44. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок.-Дис. докт. техн. наук.-Киев, 1983.- 552 с.
45. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / Рудеский А.В. – М.: Транспорт, 1992. – 253 с.
46. Савенко В.Я., Каськів В.І. Вплив опадів на розподіл вологості ґрунтів верхньої частини земляного полотна // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - 1997. - Вип.54. - С.10-16.
47. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон. - Киев, Госиздат литературы по строительству и архитектуре УССР, 1962. - 235 с.
48. Сюньи Г.К. Исследование трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях под влиянием температурных напряжений. - Дис. канд. техн. наук. - Харьков, 1940. - 128 с.
49. B.B. Teltayev, E.D. Amirbayev , B.S. Radovskiy. Viscoelastic characteristics of blown bitumen at low temperatures. Construction and Building Materials №189, 2018. – С. 54–61. journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat.
50. Monismith C.L. Westrack: Performance models for permanent deformation and fatigue / Monismith C.L., Deacon J.A., Harvey J. T. – Reno: Pavement Research Center, 2000. – 217 p.
51. Sybilski D. Comparision of properties of bitumens mixtures with bitumens and elastomere-bitumens / Sybilski D., Hordecka R. // Prace Institutu Badawczego Drog i Mostov. – Warszawa. – 1997. – № 3-4. – Str. 125-148.

52. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11 - К., 2003 – 142 с.

53. Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11 - К., 2005 – 108 с.

54. Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11 - К., 2011 – 177 с.

55. Ефремов С. В. Долговечность асфальтобетона в условиях воздействия агрессивных сред Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Харьков 2010. С. 217.

56. Осиновская В.А. Разработка теории вибрационного разрушения нежестких дорожных одежд и путей повышения их долговечности. Автореф.дисс. на соиск.уч. степени д.т.н. - Москва, 2011.-43 с..

57. *Е.В. Углова, А.С. Ионорев* Учет динамического воздействия транспортного средства на нежесткие дорожные покрытия Наука и техника в дорожном строительстве.

58. Гаркуша, М. В. Удосконалення методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії // дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Микола Васильович Гаркуша, Нац. транспортний ун-т.– Київ :, 2019.– 209 с.

59. Густелєв О. О. Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. // дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Густелєв Олександр Олександрович., Нац. транспортний ун-т.– Київ :, 2019.– 199 с.

60. Кузло М.Т., Бондар В.М., Підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2019.

61. Кузло М.Т. Оцінка напружено-деформованого стану багат шарового ґрунтового масиву при дії фільтраційного потоку // Комунальне господарство міст: Науч.-техн. зб. № 105. –К.: Техніка, 2012. – С.232-241.
62. Печеный Б.Г. Долговечность битумных и битумо-минеральных покрытий.-М.: Стройиздат, 1981.-123 с.
63. Псюрник В.О., Маляр В.В. Вплив стабілізуючих домішок на деформаційні показники щебенево-мастикового асфальтобетону Вісник ХНАДУ, вип. 86, 2019, т. I с. 193-202.
64. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.І. Братчун, В.О. Золотарьов, М.К. Пактер, В.Л. Беспалов; під редакцією д.т.н. В.І. Братчуна. – Вид. 2-ге, перероб. і доповн. – Макіївка-Харків: ДонНАБА, 2011. – 336 с.
65. Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 / В.А. Золотарев – 1-е изд. – Санкт-Петербург: Славутич, 2012. – 148 с.
66. Рейнер М., Реология, пер. с англ., М., 1965.
67. В.О. Богомоллов. В.О. Гелло. Моделювання коливань кузова автомобіля у процесі гальмування на дорожніх нерівностях
68. П.В. Духанин и др.. Разработка предложений по учету воздействия современного парка многоосных транспортных средств при проектировании нежестких дорожных одежд. Отчет о НИР – ДортрансНИИ, Ростов на Дону, - 2011.
69. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Под. ред. Н.Н.Иванова. - М.: Транспорт, 1973. - 328 с.
70. Shell 1963. Design Charts for flexible pavements. - London, 1963. - 55 p.
71. Road Note 29. A guide to the structural design of flexible and rigid pavements for new roads. Road research Laboratory. - London, 1970. - 65 p.

72. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1964. - 167 с.
73. Иванов Н.Н. и др. Расчет и испытание нежестких дорожных одежд. - М.: Высшая школа, 1969. - 99 с.
74. П.Иванов Н.Н., Коганзон М.С., Коновалов С.В. Основы новой методики расчета жестких дорожных одежд учетом повторности воздействия нагрузок. - М.: Высшая школа, 1969. - 51 с.
75. Бируля А.К., Конструирование и расчет нежестких многослойных дорожных одежд // Доклады и сообщения на научно – техническом совещании по строительству автомобильных дорог. Секция земляного полотна. М. 1963. – С. 183-190.
76. Корсунский М.Б. Практические методы определения напряженно – деформированного состояния конструкции дорожных одежд // Издательство «Транспорт» Москва, 1966. С. 5-77.
77. Теляев П.И., Мазуров В.А. Учет условий взаимодействия слоев при расчете дорожных одежд // Тр. СоюздорНИИ. Вопросы расчета и конструирования дорожных одежд. М., 1979. – С. 39-58.
78. Корсунский М.Б. Определение напряжений и перемещений в основании сооружения, создающего на грунт вертикальное равномерное давление по площади круга // Основания и фундаменты. – 1964. - № 55. – С. 5-15.
79. Бируля А.К., Ермакович Д.Е. Исследование напряжений в нежестких дорожных одеждах при проходе колеса автомобиля // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. 1962, № 1. - С. 97-102.
80. Приварников А.К., Шевляков Ю.А. Решение основных граничных задач теории упругости для многослойных оснований // В кн.: Аннотации докладов II Всесоюз. съезда по теорет. и приклад. механике. – М., 1964. – 175 с.
81. Шехтер О.Я. Расчет бесконечной фундаментной плиты, лежащей на упругом основании конечной и бесконечной мощности и нагруженной

сосредоточенной силой // В кн.: Сб. трудов НИС Треста глубинных работ. М.-Л., Изд-во строительной литературы, 1939. – С. 133-139.

82. Плевако В.В. Комбинированная задача строительной механики многослойного полупространства // В кн.: Материалы Всесоюзн. межвуз. научно-техн. конференции по прочности дорожных одежд. Х. 1968. – С. 166-169.

83. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог // Издательство «Транспорт», М., 1964. – 167 с.

84. Радовский Б.С. Напряженное состояние нежестких дорожных одежд с промежуточными слоями из слабосвязанных зернистых материалов // Ленинград, 1966. - 251с.

85. Булавко А.Г. Слоистое неоднородное трансверсально-изотропное полупространство как расчетная схема дорожных и аэродромных одежд // В кн.: Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог. Секция земляного полотна, методов расчета нежестких дорожных одежд и устройства покрытий и оснований из укрепленных грунтов. Москва, 1963, С. 208-211.

86. Хархута Н.Я., Костельов М.П. Напряжения и деформация в грунтах при ударных нагрузках // В кн.: Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. Ленинград, 1964. - С. 30-33.

87. Иванов Н.Н. Анализ существующих методов расчета дорожных одежд нежесткого типа и основные положения для разработки новой инструкции // В кн.: Доклады и сообщения на научно-тех. совещании по строительству автомобильных дорог. Секция зем. полотна, методов расчета нежестких дорожных од. М.: 1963. – С. 173-182.

88. Теляев П.И. Учет динамического действия нагрузок при расчетах дорожных одежд // Труды СОЮДОРНИИ Выпуск 1, Москва, 1964. - С. 11-19.

89. Супрун А. С. Расчет эффективного времени нагружения дорожной одежды // В кн.: Автомобильные дороги и автомобильное строительство. 1986, вып. 39. - с. 25 – 28.

90. Иноземцев А.А. Сопротивление упруго-вязких материалов // Л.: Стройиздат, 1966. – 168 с.

91. Мозговой В.В., Радовский Б.С. Определение напряжений в покрытии как вязко-упругом слое при колебаниях температуры // В кн.: Исследования по механике дорожных одежд. – М.: 1985. - с.121-132.

92. Михович С.И. Оценка прочности дорожных конструкций при воздействии повторных нагрузок с учетом реологических свойств материалов // В кн.: Материалы к научно – технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и автомобильных дорог. М., Стройиздат, 1964 с. 107-112.

93. Богуславский А.М. Богуславский Л.А. Реологические свойства асфальтового бетона при постоянном, переменном и многократном нагружении // В кн.: Прикладная реология. Том 2. Минск, 1970. - С. 126-134.

94. Радовский Б.С., Малеванский Г.В. Определение работоспособности покрытий нежестких дорожных одежд // В кн.: Автомобильный транспорт и дороги. 1970. - С. 86-91.

95. Сюньи Г.К., Мозговой В.В.. О расчете асфальтобетонных покрытий на трещиностойкость // VII Всесоюзное совещание дорожников. Тезисы докладов и сообщений. Москва, 1981 - С. 10-11.

96. Синицын А.П., Глушков Г.И., Цементобетонные покрытия под воздействием подвижных нагрузок // Автомобильные дороги, 1959, № 4. - С. 25-27.

97. Бируля А.К. Методы исследования динамических свойств дорожных покрытий // В кн.: Исследование методов расчета толщины дорожных покрытий. М., Труды ДорНИИ. Вып 1. Из-во Гушосдора, 1938. – С. 107-142.

98. Батраков О.Т. Учет кратковременных нагрузок при конструировании и расчете нежестких дорожных одежд // В кн.: Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. Ленинград, 1964, С. 102-106.

99. Титаренко А.М. Разработка методики ускоренного определения деформативных характеристик дорожных конструкций по очертанию чаши прогиба: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. – К., 1992. – 180 с.

100. Теляев П.И. К учету длительности действия нагрузки при расчетах дорожных одежд // В кн.: Материалы всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. Выпуск № 8, Москва, 1976, С. 14-18.

101. Малевский Г. В. Исследование методов проектирования некоторых типов нежестких дорожных одежд с учетом усталости материалов. Автореф. дис... канд. техн. наук. – Киев, 1974, 24 с.

102. Щербаков И. М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд.

103. Теляев П.И. К определению модулей упругости материалов дорожных конструкций при кратковременных нагружениях // В кн.: Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. Ленинград, 1964. - С. 102-106.

104. Шматкова А.А. Качение жесткого цилиндра по вязко-упругой полуплоскости // Известия АН ССР. Механика твердого тела. 1969, №2, с. 104-109.

105. Сюньи Г.К. Асфальтовый бетон // Государственное издательство технической литературы УССР, Киев, 1956. - 204 с.

106. Радовский Б.С. Щербакова Е.Я., Оценка реологических характеристик асфальтобетона при кратковременных нагрузках // В.кн. Повышение качества асфальтобетона. Труды Всес. дор. НИИ. Вып. 79. М.: Из-во СоюздорНИИ, 1975. – С. 70-77.

107. Приварников А.К., Радовский Б.С. Влияние вязко-упругих свойств и инерционных сил на поведение дорожной одежды под действием подвижной нагрузки // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура, 1980, №4. - с.105-111.
108. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - М.: Наука, 1966. – 752 с.
109. Салль А.О., Сопротивление асфальтобетонного покрытия изгиб при действии движущегося автомобильного транспорта: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: – Л., 1968. – 28 с
110. Руденский А.В. Руденская И.М. Реологические свойства битумоминеральных материалов. – М.: Высшая школа, 1971. – 131 с.
111. Золотарев В.А., Ткачук Ю.П. Исследование вязко-упругого поведения асфальтобетона // Известия высших учебн. заведений. Строительство и архитектура, 1973, №1. - с. 133-137.
112. В. А. Золотарев. Исследование свойств асфальтобетонов различной макроструктуры: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Харьков, 1967, 24 с.
113. Супрун А. С. Расчет напряжений, перемещений и деформаций нежёстких дорожных одежд при движении многоосных многоколесных транспортных средств: Дис. канд. техн. наук: 05.22.03. – К. – 1983. – С. 318.
114. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог / Г.И. Глушков, В.Ф. Бабков, В.Е. Тригони и др.; Под ред. Г.И. Глушкова: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 349 с.
115. Вяжущие материалы / А.А. Пащенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская и др. – К.: Будівельник, 1975. – 440 с.
116. Минеральные вяжущие вещества / Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. и др. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
117. Черпаков П.В. Теория регулярного обмена. – М.: Энергия, 1975. – 222 с.

118. Сиденко В.М., Герасименко В.Г. Анализ температурного поля, уплотняемой асфальтобетонной смеси в зимний период // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Киев.: Будівельник, 1977. - Вып. 21. - С. 72-74
119. Пузанов Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 146 с.
120. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967. - С. 599.
121. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон. – К.: Высшая школа, 1975. - 156 с.
122. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. – К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
123. Шепери Р.А. Вязкоупругое поведение композиционных материалов // Механика композитов. – М.: Мир, 1978. – Т. 2- 2. С. 102-195.
124. Густелев А.А., Мозговой В.В., Шевчук Л.В. Анализ механизма подкрепления армирующей сеткой многослойного покрытия // Вестник КаздорНИИ: научно-практ. журнал. 2019. №1-2 (61-62). С. 141-148.
125. Мозговой В.В., Густелев А.А., Гайдайчук В.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термонапряженное состояние дорожных покрытий. Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі: III міжн. наук.-практ. конф. (24 – 25 вересня 2019 р., м. Київ). Київ, 2019.
126. Маргайлик. Модифицированные дорожные вяжущие. // Автошляховик України, 1993, выпуск 4. – Київ, – С.27-30.
127. Influence de la nature du bitume sur les proprietes et la stabilite des liants bitumes-polimeres / Dony A., Durrien F // Bull. Liasis Lab. Ponts et chausses. - 1990. - № 168/ - С. 57-63, 165, 167, 169, 172
128. Бутлицкий Ю.В., Попандопуло Г.А., Шульженко Л.А. Применение водорастворимых полимеров при приготовлении асфальтобетонных смесей.

//Труды Союздорнии. //Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. М. – 1981. С.51 – 61

129. Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Шемонаева Д.С., Давыдова К. Комплексные органические вяжущие на основе ПАВ и полимеров. // Труды Союздорнии. //Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. М. – 1981. С.65 – 73.

130. Гнатенко Г.Ф., Фесенко В.І., Галкін А.С., Жданюк В.К., Золотарьов В.О. Досвід приготування полімербітумного в'язучого у безкомпресорній установці. // Автошляховик України. № 1. 2001. С. 39-42.

131. Савенко В.Я., Безпалый Є.А. Стабільність структури модифікованого в'язучого та її вплив на довговічність регенерованого асфальтобетону. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 61. 2001. С. 91-96.

132. Макарьчев О.О., Мозговий В.В., Бесараб О.М., Онищенко А. М. Оцінка впливу модифікатора бітуму Бутонал NS 198 на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття. // Дороги і мости. Збірник наукових статей. ДерждорНДІ. Вип. 5. Київ 2006. с. 275-288.

133. Братчун В.И., Пакер М.К., Самойлова Е.Э., Беспалов В.Л., Гуляк Д.В. Битумополимерные вяжущие и асфальтобетоплимербетоны с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 70. 2004. С. 46-51.

134. Littlefield. Warmdehneverhalten von Asphaltbeton in Utah.— Bitum., Teer., Asph., Pech. und verw. St., 1974, № 4, 25.

135. Никольский Ю. Е. Исследование трещиноустойчивости асфальтобетонов при низких температурах. Труды/Союздор- НИИ. М., 1969, вып. 29.

136. Большухин А. М. Основные итоги исследования холодных асфальтобетонных смесей, укладываемых при низких температурах. Труды/УралНИИАКХ, Свердловск, 1958, вып.

137. Установка для определения внутренних напряжений и температур растрескивания материалов Б. Г. Печеный, В. В. Масленников, С. П. Андриюшенко, В. П. Лосев.— Заводская лаборатория, 1979, т. 45, № 2.

138. Печеный Б. Г., Вахитов Р. Р. Дилатометрия битумоминеральных систем, — В кн.: Исследование остаточных продуктов нефтепереработки. М., 1977.

139. Brown E.R., Mallick R.B. Stone Matrix Asphalt – Properties related to mixtures design. NCAT Report 94-2. 1994.

140. Jurgen Hutschenreuther, Thomas Wörner Asphalt im Strassenbau.1998.

141. СОУ 45.2-00018112-020:2009 Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій

142. ДСТУ Б В.2.7-319-2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 71 с.

143. СОУ 45.2-00018112-046:2009. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві.

ДОДАТОК А
РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ

А.1 Основні види руйнувань дорожнього покриття із ЩМА

При проведенні натурних досліджень обстежувались вулиці та дороги населених пунктів та дороги загального користування, що мають різні характерні ділянки за часом дії навантаження.

Аналіз результатів обстеження стану дорожнього одягу, що експлуатується при різних режимах навантаження дав можливість підтвердити теоретичні передумови та переконатися, що вони знаходяться в різному стані за характером і кількістю деформацій і руйнувань в залежності від часу дії навантаження.

Дослідження дорожнього одягу проводилося з метою оцінки пошкоджень асфальтобетонного покриття. На основі аналізу документальних даних розділяли дорогу на характерні ділянки, що відрізнялися одна від одної за наступними ознаками: конструкція дорожнього одягу та термін введення в експлуатацію.

Обстеження стану дорожнього одягу виконували шляхом візуального огляду. При цьому оцінювали стан дорожнього одягу і встановлювали види, розповсюдженість і розміри тріщин асфальтобетонного покриття. На основі результатів обстеження автомобільну дорогу розділяли на ділянки, що відрізнялися характерними видами тріщин та їх кількістю.

При проведенні візуального обстеження використовували:

- мірну стрічку для визначення довжини тріщин та відстані між ними;
- фотоапарат для фіксації тріщин.

Під час обстеження було виявлено поперечні та поздовжні тріщини, визначенні їх геометричних розмірів та відстані між ними. Крім того, в характерних місцях було відібрано керни за допомогою приладу алмазного буріння на всю конструкцію дорожнього одягу, для визначення характеру утворення тріщин. Результати візуального огляду існуючого покриття проїзної частини з ЩМА, що має дефекти дозволив виявити наступні основні види

руйнувань дорожнього покриття: викришування, лущення, поперечні тріщини, поздовжні тріщини, сітка тріщин (рис. А.1 -А.4).



Рисунок А.1 – Викришування та вибоїни



Рисунок А.2 – Неоднорідність асфальтобетонного покриття



Рисунок А.3 – Шелушіння покриття



Рисунок А.4 – Поперечні та поздовжні тріщини

А.2 Характер та види руйнувань дорожнього одягу на вулицях і дорогах м. Києва

Характер та види руйнувань асфальтобетонного покриття дорожнього одягу, а також схеми розташування тріщин в асфальтобетонному покритті на вулицях і дорогах м. Києва, а саме на вул. Набережно-Рибальській наведено на рисунках А.9 – А.10..

Результати обстежень свідчать про різновид тріщини, які можна розділити на три характерних типи, в залежності від їх довжини:

- 1 тип – тріщини, що перетинають одну половину або правої або лівої проїзної частини;
- 2 тип – тріщини, які становлять $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ ширини проїзної частини в одному напрямку.

Характер тріщин поділяється на три види:

- 1 вид – тріщини, що є прямими;

- 1 вид – тріщини, що є слабо звивистими;
- 2 вид – тріщини, що є сильно звивистими (зигзагоподібними)

Після візуального обстеження на основі відомості дефектів та інформації щодо конструктивних рішень на об'єкті, всю ділянку було розділено на 4 ділянки:

1. ПК 3+60 - ПК 8+45 (для правого проїзду) загальна довжина складає 485 м.

ПК 3+60 - ПК 8+58 (для лівого проїзду) загальна довжина складає 498 м.

Середня довжина ділянки складає 492 м. На ділянці влаштовано з армуючий синтетичний матеріал Hatelit, в основі цементобетон марки 75.

2. ПК 8+45 - ПК 10+00 (для правого проїзду) загальна довжина складає 155 м.

ПК 8+58 - ПК 10+00 (для лівого проїзду) загальна довжина складає 142 м.

Середня довжина ділянки складає 149 м. На ділянці влаштовано з армуючий синтетичний матеріал Hatelit, в основі цементобетон марки 75.

- 2.7 ПК 10+00 - ПК 13+00 загальна довжина складає 300 м.

На ділянці влаштовано армуючий синтетичний матеріал Hatelit, більша товщина асфальтобетонних шарів у порівнянні з ділянкою 2, в основі цементобетон марки 75.

3. ПК 13+00 - ПК 14+28 загальна довжина складає 128 м.

На ділянці влаштовано тріщиноперериваючий шару з СПОЛІмосту в основі цементобетон марки 150.

Загальну кількість тріщин, приведених до шт/км, по ділянках, а також характер тріщиноутворення асфальтобетонного покриття по його товщині наведено в Додатку Б.

Також на основі відомості дефектів всі існуючі тріщини були поділені на 4 типи:

- 1 тип – поперечна тріщина яка проходить через обидва проїзди (на ширину двох проїздів);

2 тип – поперечна тріщина яка проходить через один з проїздів (на ширину одного проїзду);

3 тип – поперечна тріщина яка проходить через частину одного з проїздів (на ширину частини одного з проїздів);

4 тип – поздовжня тріщина.

На всіх типах тріщин кожної з ділянок відбиралися зразки керни для виявлення характеру глибини тріщини.

Отримані фактичні дані про кількість тріщин, що дозволяють зробити висновок про вплив транспортного навантаження та температури як на стан покриття, так і на прояв тріщин.

Результати дослідження свідчать, що утворення тріщин в конструкції дорожнього одягу різноманітні, які залежать, як правило, від матеріалоемних та технологічних факторів. Їх можна розділити на такі види:

- тріщини, що проходить через верхній асфальтобетонний шар і далі між шарами, в цементобетонних шарах тріщини відсутня;
- тріщини, що проходять через всі асфальтобетонні шари, в цементобетонних шарах тріщини відсутня;
- тріщини, що проходять через всю конструкцію дорожнього одягу.



Рисунок А.5 – Руйнування покриття асфальтобетонного покриття
на вул. Набережно-Рибальській, м. Київ



Рисунок А.6 – Стан асфальтобетонного покриття
на проспекті Воз'єднання в м. Києві

Схеми розташування тріщин в асфальтобетонному покритті по вул. Набережно-Рибальській та на проспекті Воз'єднання наведені відповідно на рисунках А.7, А.8.

Загальна кількість тріщин по ділянках наведена в таблиці А.1.

Характер тріщиноутворення асфальтобетонного покриття по його товщині наведено в таблиці А.2.

Таблиця А.1 - Загальна кількість тріщин, приведених до шт/км, по ділянках

Тип тріщини	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 2'	Ділянка 3
1 тип	2 шт/км	7 шт/км	13 шт/км	55 шт/км
2 тип	49 шт/км в тому числі: Лпр. 19 шт/км Ппр. 30 шт/км	34 шт/км в тому числі: Лпр. 21 шт/км Ппр. 13 шт/км	50 шт/км в тому числі: Лпр. 23 шт/км Ппр. 27 шт/км	31 шт/км в тому числі: Лпр. 11 шт/км Ппр. 20 шт/км
3 тип	47 шт/км в тому числі: Лпр. 18 шт/км Ппр. 29 шт/км	114 шт/км в тому числі: Лпр. 56 шт/км Ппр. 58 шт/км	83 шт/км в тому числі: Лпр. 27 шт/км Ппр. 57 шт/км	62 шт/км в тому числі: Лпр. 39 шт/км Ппр. 23 шт/км
4 тип	0 шт/км	13 шт/км в тому числі: Лпр. 4 шт/км Ппр. 9 шт/км	7 шт/км в тому числі: Лпр. 0 шт/км Ппр. 7 шт/км	8 шт/км в тому числі: Лпр. 8 шт/км Ппр. 0 шт/км
Примітка. Лпр. – лівий проїзд. Ппр. – правий проїзд				

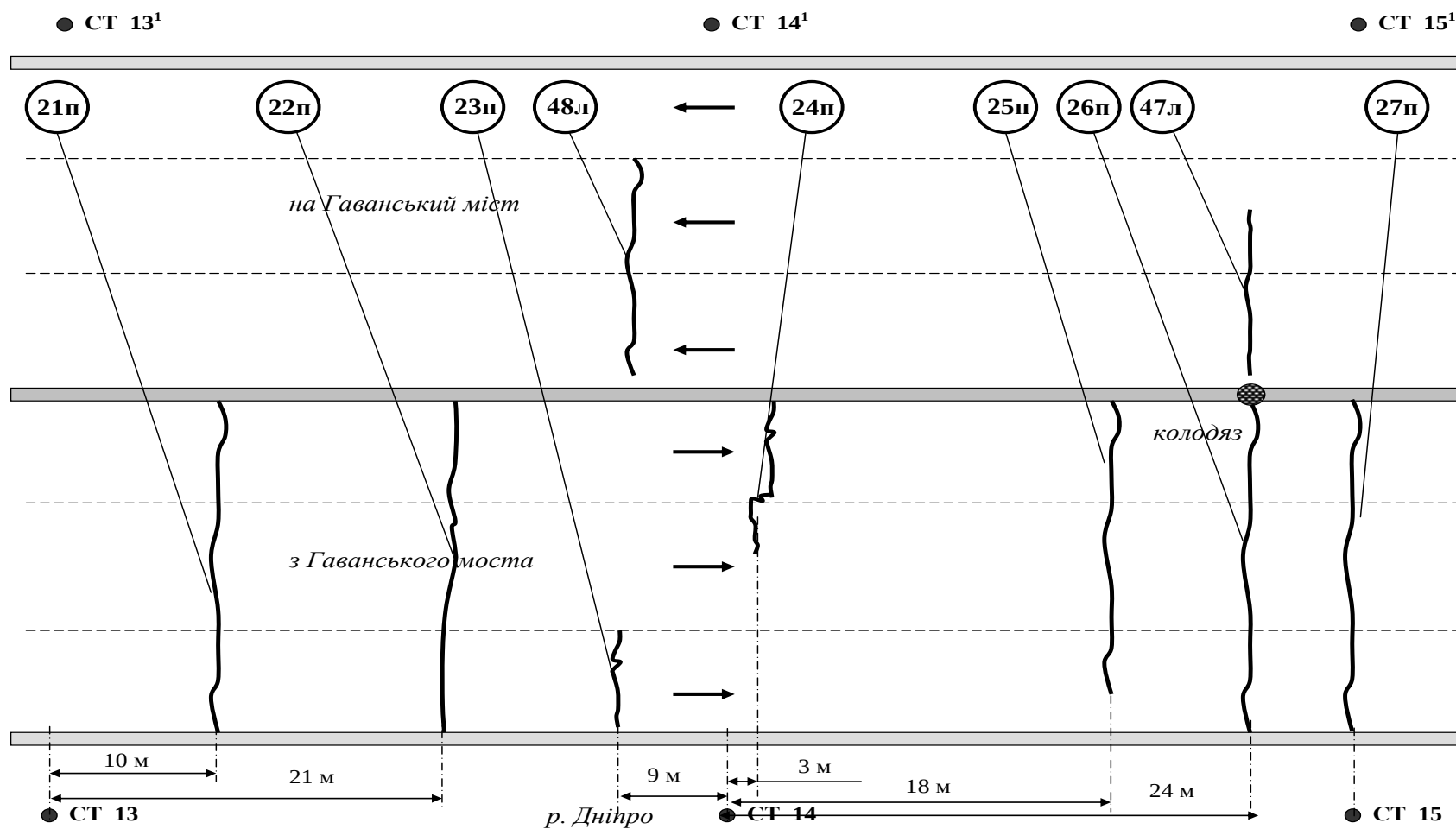
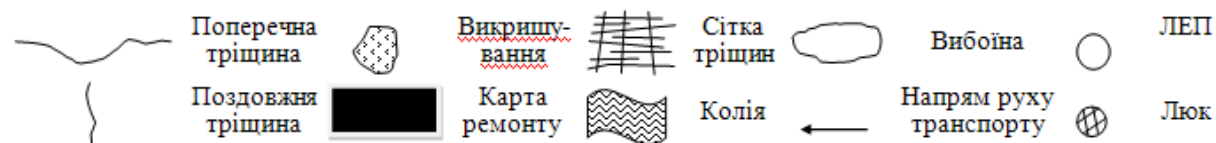


Рисунок А.7 – Схема розташування тріщин в асфальтобетонному покритті на вулиці Набережно-Рибальській в м. Києві

Умовні позначення:



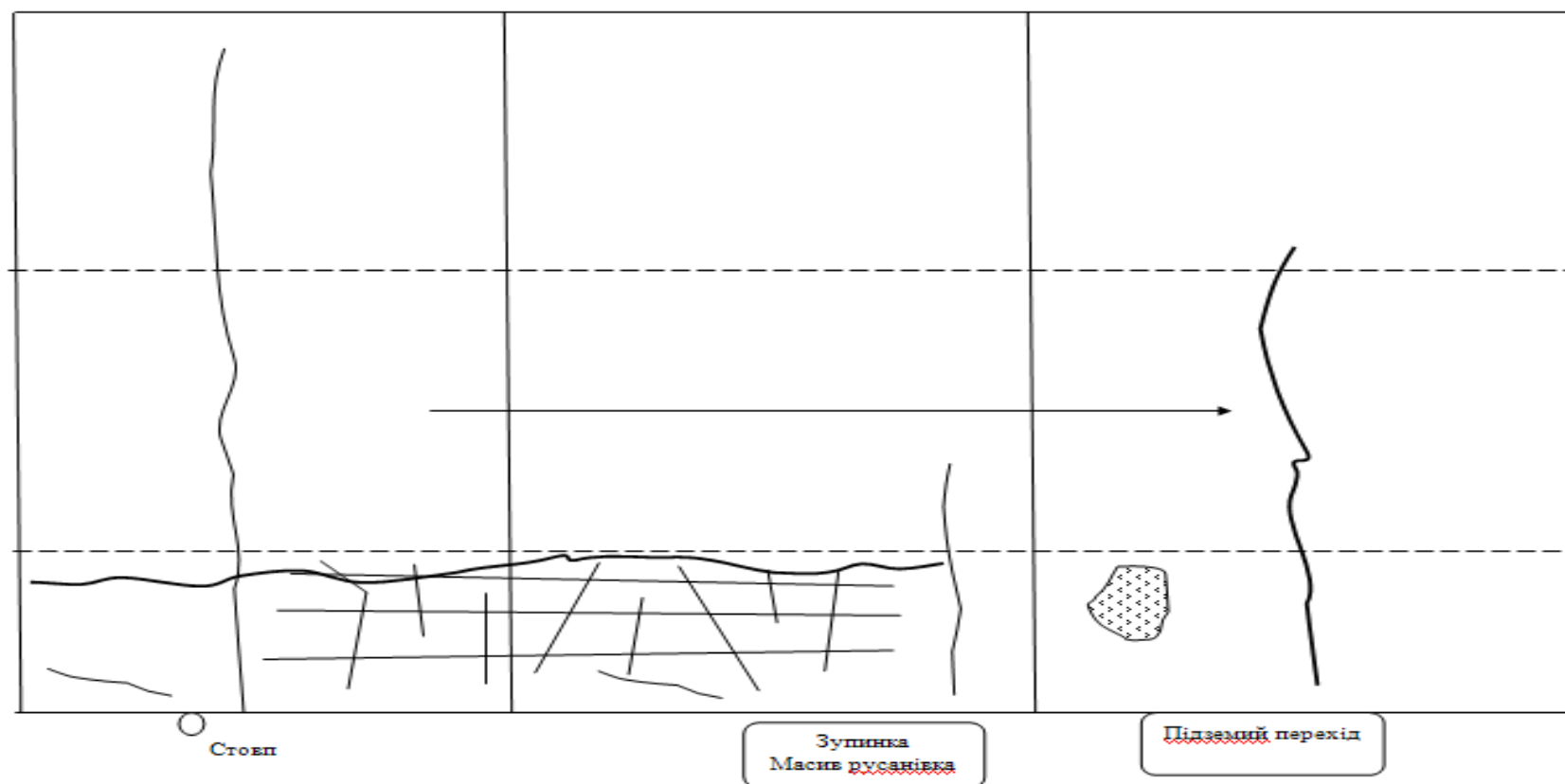
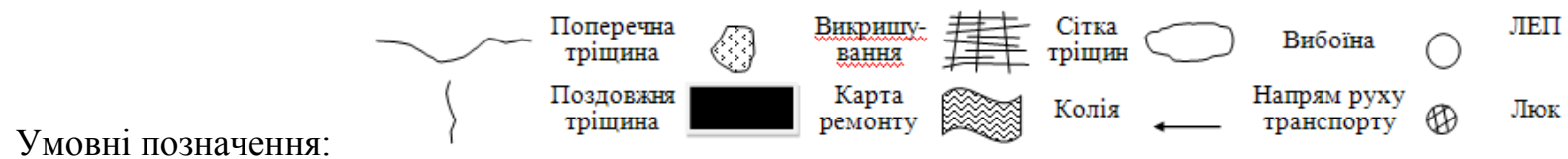


Рисунок А.8 – Схема розташування тріщин в асфальтобетонному покритті на проспекті Воз'єднання в м. Києві



Таблиця А.2 – Характер тріщиноутворення асфальтобетонного покриття по його товщині на вулиці Набережно-Рибальській в м. Києві

Шифр керн	Номер дефекту відповідно схемі А.7	Фото керн		Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1	2	3		4
2'Л.1.5	16.Л			Тріщина проходить через всі асфальтобетонні шари, в цементобетонних шарах тріщина відсутня
2'Л.3.8	20.Л			Тріщина проходить зверху через 2 шари асфальтобетону

1	2	3	4
2.Л.2.12	40.Л	 	Тріщина проходить через всю конструкцію дорожнього одягу
1- 2.Л.5.14	42.Л	 	Тріщина проходить через половину товщини верхнього шару асфальтобетонного покриття

Закінчення таблиці А.2

1	2	3	4
1.Л.2.17	49.Л		Тріщина проходить через всі асфальтобетонні шари, в цементобетонних шарах тріщина відсутня
3.П.2.38	86.П		Тріщина проходить через всі асфальтобетонні шари до тріщинопереривачого шару Сполімость

Умове позначення місця відбору керну 3.П.2.38

де 3 номер ділянки; П – правий проїзд; 2 – тип тріщини; 38 – номер тріщини.

Результати обстеження покриття із ЩМА на об'єктах з дефектами показали наступне.

1. Після зимового періоду збільшується кількість локальних місць з викришуванням, що переходить у ямковість. Також в окремих місцях спостерігаються поздовжні тріщини на стиках смуг укладання суміші асфальтоукладальниками (в деяких місцях спостерігається більше розкриття з обламуванням кромek та руйнування таких тріщин з переходом у ямковість). В декількох місцях утворилися поперечні тріщини та сітка тріщин. Інші види деформацій та руйнувань відсутні, рівність покриття в незруйнованих місцях знаходиться в задовільному стані.

2. За результатами візуального огляду та лабораторних випробувань, а також за даними спостереження під час будівництва асфальтобетонного покриття можна виділити такі основні причини наявності пошкоджень на покритті:

- недостатня кількість бітуму (5,5-5,9% замість запроектованого вмісту 6,35-6,7%) в асфальтобетоні (підвищена залишкова пористість, підвищене водонасичення), що викликало викришування з переходом у ямковість на обширних площах в окремих локальних місцях;
- недостатній ступінь ущільнення (коефіцієнт ущільнення складає 0,93-0,97, необхідно 0,98-1,00) через переохолодження асфальтобетонної суміші (низька щільність, підвищене водонасичення), що викликало викришування з переходом у ямковість на невеликих площах в окремих локальних місцях та обламування кромek розкритих тріщин;
- неякісна підґрунтовка і відсутність щеплення покриття з основою (тріщини, сітка тріщин, ямковість на різних площах по розміру в окремих локальних місцях);

- несвоєчасно виконані ремонтні заходи при поточному утриманні (ямковий ремонт, герметизація покриття з тріщинами, влаштування захисного шару).

А.3 Аналіз стану покриття із ЩМА в країнах Європи

Було проаналізовано інформацію про натурні обстеження автомобільних доріг і вулиць в Німеччині, Австрії, Угорщині, Італії, Польщі, Словенії та інших країнах, що здійснювались в різні періоди часу починаючи з 2000 року.

Характерний стан покриття із ЩМА на автобанах та вулицях і місцевих проїздах великих і малих населених пунктів Німеччини показано на рис.А.9 – А.11.

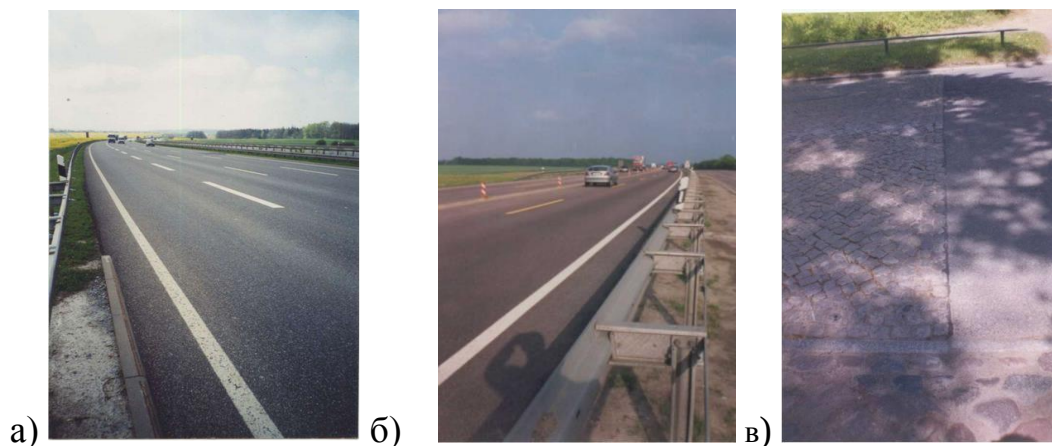


Рисунок А.9 – Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття: а) і б) - на автомобільній дорозі Берлін – Варшава (основний проїзд автобану); в.) - в населеному пункті Botenheim, Німеччина.

Було обстежено понад 1000 км доріг і вулиць Німеччини з покриттям із ЩМА. Результати обстежень показали високу якість покриття, яке має не тільки високі експлуатаційні характеристики, а також і гарний естетичний вигляд. Для влаштування покриття на автобанах застосовують три основних види матеріалів, серед яких важливе місце посідає ЩМА.



Рисунок А.10 – Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття на автомобільній дорозі Берлін – Варшава (з'їзд на дорогу місцевого значення), Німеччина



а)



б)

Рисунок А.11 – Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття:
а) - на автомобільній розв'язці, Німеччина б) - ЩМА на місцевому проїзді в населеному пункті Brackenheim, Німеччина

Також були обстежені покриття із ЩМА в Австрії (рис. А.12) та Італії (рис. А.13)

Таким чином, аналіз стану покриття із ЩМА в країнах Європи та умов приготування, транспортування та укладання сумішей показав, що в країнах, де існують давні традиції застосування ЩМАС та розроблені норми з урахуванням місцевих і регіональних умов (Німеччина, Австрія, Італія та інші) покриття із ЩМАС практично знаходяться в бездоганному стані. Країни, які запозичили нормативні вимоги до ЩМА в інших країнах, після їх апробації

змушені були вносити корективи з урахуванням своїх регіональних умов, наприклад, Угорщина, де на покритті із ЩМА на деяких ділянках доріг і вулиць спостерігалася колійність.



Рисунок А.12 – Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття на дорозі
Відень-Ваймар (Австрія)

Для всіх країн Західної Європи характерним є певні особливості умов приготування та транспортування ЩМАС, де з метою запобігання розшарування сумішей не практикують витримування або обмежують час перебування в бункері накопичувачі, та розміщують асфальтобетонні заводи біля об'єктів будівництва таким чином, щоб відстань транспортування не перевищувала 30 – 40 км. Крім того, останнім часом широко впроваджуються перевантажувачі ЩМАС для її гомогенізації перед укладанням суміші асфальтоукладачем. Суттєву увагу приділяють точності дотримання запроектованого складу ЩМАС. З цією метою застосовують вузькі фракції кам'яного матеріалу, які зберігаються під накриттям, тверде покриття майданчиків для зберігання кам'яних матеріалів та достатня кількість бункерів і дозаторів попереднього дозування матеріалів.



Рисунок А.13 – Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття на автомагістралях (Італія)

Особливу увагу приділяють ретельному контролю якості на всіх етапах проектування, виробництва та випробування ЩМАС. Всі ці та інші заходи у комплексі забезпечують високу якість і однорідність ЩМАС у тому числі і унеможливають розшарування суміші при транспортуванні та укладанні на об'єкті будівництва.

А.4 Результати досліджень стійкості ЩМАС до розшарування під час влаштування покриття на автомобільних дорогах України

Приведена методика обстеження існуючого стану покриття, з визначенням місць з розшаруванням ЩМАС, результати візуального обстеження покриття із ЩМА на різних об'єктах України та аналіз застосованих складів ЩМАС та характеристики їх однорідності.

А.4.1 Методика обстеження існуючого стану покриття із ЩМА

Обстеження стану дорожнього одягу виконується шляхом візуального огляду. Під час обстеження розшарування ЩМАС оцінюється за наявністю та відносною площею поверхні бітумних плям на покритті (рис. А.14).

На основі результатів обстеження ділянки можуть розділятися на підділянки, що відрізняються кількістю та площею бітумних плям. Під час обстеження реєструється пікетажне положення місць з бітумними плямами, встановлюється відносно площі бітумних плям (експертним методом), та здійснюється фотографування таких місць із загальним виглядом та характерними видами.



Рисунок А.14 – Приклади плям на поверхні покриття із ЩМА

А.4.2 Результати аналізу натурних досліджень влаштування покриття із ЩМА на Північно-Східному обході м. Києва

З метою апробації та відпрацювання рецепту ЩМА-20, передбаченого для влаштування покриття із ЩМА-20 на автодорозі «Київ-Бориспіль», Укравтодором у 2004 році було організовано влаштування покриття із сумішей, що вироблялись на АБЗ підприємств, залучених для виготовлення ЩМАС. На рис. А.15 і А.16 показані перші невдалі спроби випуску ЩМАС, де спостерігалось суттєве розшарування суміші.



Рисунок А.15 – Бітумні плями на покритті із ЩМА при перевірці технології і рецептів ЩМА-20 на початку апробації в ШРБУ-41 з метою наступного впровадження на автомобільній дорозі Київ-Бориспіль

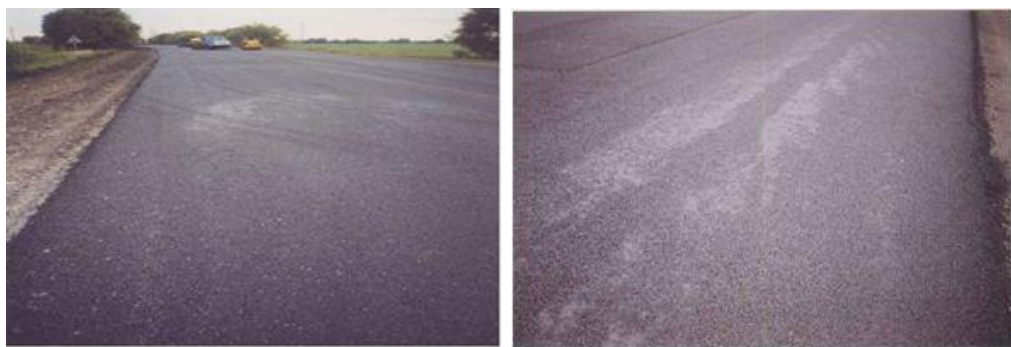


Рисунок А.16 – Бітумні плями на покритті із ЩМА при перевірці технології і рецептів ЩМА-20 на початку апробації в ШРБУ-50 з метою наступного впровадження на автомобільній дорозі Київ-Бориспіль

З метою з'ясування причин було здійснено аналіз можливих причин, зроблено відповідні висновки і внесені корективи в рецепти та параметри технології виготовлення ЩМАС (рис.А.17)



Рисунок А.17– Позначення характерних місць та відбір зразків з покриття для дослідження причин розшарування ЩМАС

Приклад результатів аналізу при відпрацюванні кладу ЩМАС, розробленого лабораторією якості матеріалів транспортного будівництва кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету для автомобільної дороги Київ-Бориспіль представлено в табл.А.3

Таблиця А.3 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової суміші відібраної з бункера асфальтоукладальника (ВАТ «ЗЗБВ і ДБМ», змішувач №1)

	Вміст по масі в % мінеральних зерен менше даного розміру, мм										Вміст бітуму, %
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
ГЩМС	95,0	61,5	35,8	23,3	20,7	18,9	17,2	15,7	14,0	10,6	6,06
Невідповідність вимогам, %	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-0,6
Вимоги ТУ У 45.2-В.2.7-03450778-204-2002 до ЩМА-20	100-90	70-50	42-25	30-20	25-15	24-13	21-11	19-9	15-8	13-8	5,0-6,0
Примітка: Ступінь розшарування не відповідає вимогам і складає 0,24%											

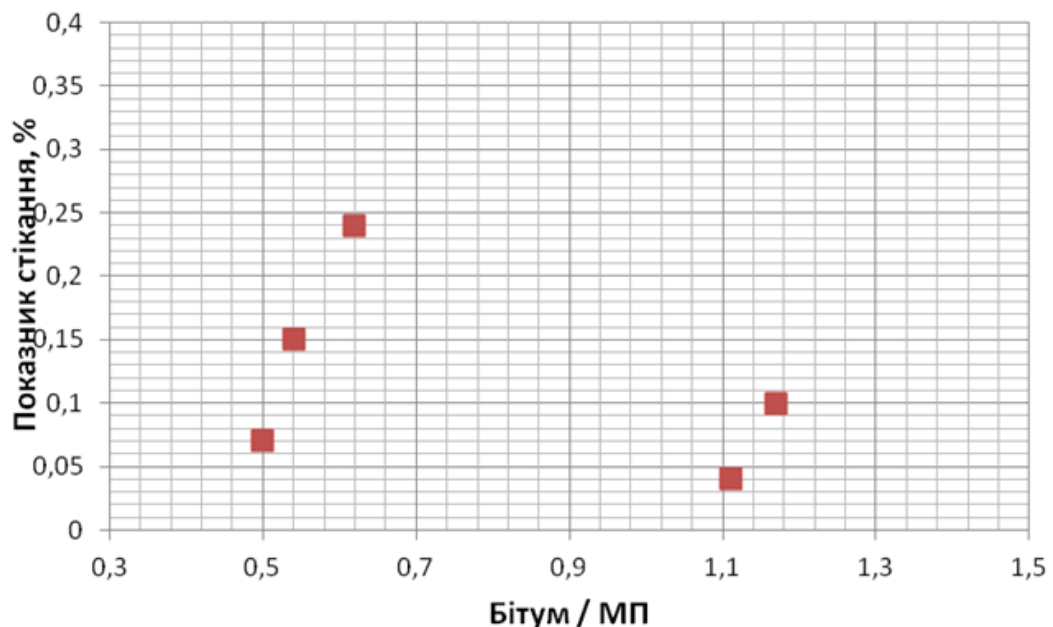


Рисунок А.18 – Графік залежності показника стікання від відношення вмісту бітуму до мінерального порошку щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виготовленої на ЗЗБВ і ДБМ що застосовувалася при влаштуванні асфальтобетонного покриття автомобільної дороги Київ - Бориспіль

Процес коригування технології одержання ЩМАС завершався після отримання позитивних результатів (рис.А.19).



Рисунок А.19 – Результати позитивного відпрацювання рецептів та влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на північно-східному обході м. Київ

А.4.3 Результати аналізу натурних досліджень влаштування покриття із ЩМА на автомобільній дорозі «Київ-Бориспіль»

Після завершення у 2004 році відпрацювання рецептів на кожному АБЗ розпочалося влаштування покриття із ЩМАС на автомобільній дорозі «Київ-Бориспіль» (рис. А.20). Стан покриття після завершення його влаштування був у відмінному стані, однак в окремих місцях спостерігалися незначні бітумні плями (рис. А.21).



Рисунок А.20 – Влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на автомобільній дорозі Київ – Бориспіль (2004 р.)



Рисунок А.21 – Стан покриття із ЩМА після завершення влаштування

Обстеження покриття із ЩМА на дорозі Київ-Бориспіль через 8 років експлуатації свідчить, що воно знаходиться в гарному стані, бітумні плями, що спостерігаються в окремих місцях, не створили проблем утворення колійності (рис.А.22).



Рисунок А.22– Стан покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону автомобільної дороги Київ – Бориспіль (у 2012 р.)

В табл. А.4 та на рис. А.23 наведений аналіз результату здійсненого контролю якості стосовно залежності показника стікання та характеру його статистичного розкиду в залежності від коефіцієнтів варіації вмісту складових ЩМА.

Таблиця А.4 – Результати визначення показника стікання при влаштуванні покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на автомобільній дорозі Київ–Бориспіль

Назва фірми виробника ЦМАС	Км, ст.	Ступінь розшарування	К-ть щебеню	К-ть мінерального порошку	К-ть бітуму
ШБУ-41 зм.№2		0,13	75,1	14	6
ШБУ-41 зм.№1		0,12	77,1	8,39	6
ШБУ-41 зм.№1		0,15	77,82	9,76	6,1
ШБУ-41 зм.№1		0,13	74,9	10,1	5,9
ЗЗБВ і ДБМ	ст. 134+95	0,04	74,3	5,4	6
ШБУ-50	ст. 135+5	0,09	74,7	8,4	6,1
ШБУ-41 зм.№2	ст. 134+90	0,05	77,6	10	6,3
АБЗ	ст. 101+02	0,013			
ШБУ-41	ст. 101+00	0,01			
ШБУ-50	ст. 103-10	0,039			
АБЗ зм.№2	авто	0,05	77,7	10,5	5,4
АБЗ ДСУ-41	авто	0,03	78,9	8,4	4,9
АБЗ	ст. 135+20	0,02	76,6	8	5,8
АБЗ ДСУ-41	ст. 129+45	0,05	75,9	10,9	5,6
АБЗ		0,06	74,9	9,5	5,9
АБЗ ШБУ-50	ст. 129+50	0,05	73	9,8	5,9
ШРБУ-50	км 22+650	0,062	76,4	4,3	6
АБЗ зм.№2	км 20+890	0,03	79,8	5,3	6,3
ШРБУ-41	км 20+910	0,04	77,6	4,2	5,4
ШРБУ-50	км 20+930	0,06	73,7	10,4	6,5
АБЗ	авто	0,05	78,1	4,1	5,9
ШРБУ-41	км 19+000	0,05	64,5	7,4	5,8
вирубка	км 22+300	0,03	68,2	7,7	6,2
ШБУ-50	ст. 135+40	0,05	74,1	9,1	5,8
ШРБУ-41	км 18+450	0,04	79,4	7,5	5,6
ШРБУ-41	км 18+450	0,12	77,1	9,9	6
ШРБУ-50	км 18+550	0,03	73	9,1	5,8
ЗЗБВ і ДБМ, зм.№1	бункер АУ	0,24	76,7	10,6	6,06
ЗЗБВ і ДБМ, зм.№1		0,07	72,4	11,7	5,89
ЗЗБВ і ДБМ, зм.№3		0,15	75	10,6	5,7
АБЗ	бункер АУ	0,34	76,7	11,3	5,78
ШБУ-50	бункер АУ	0,03	74,1	13,2	5,77
ШБУ-41	бункер АУ	0,72	75,8	11,8	5,48



Рисунок А.23 – Влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на вул. Хрещатик в м. Києві (2005 р.)

Таблиця А.5 - Результати досліджень по визначенню зернового складу
ЩМА для ВАТ «АБЗ»

[illegible]

А.4.5 Результати аналізу натурних досліджень влаштування покриття із ЩМА на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ

Умови, що склались під час виконання капітального ремонту автомобільної дороги М-02 (Е 101) Кіпті-Глухів-Бачівськ (холодна погода, велика відстань транспортування асфальтобетонної суміші та ні.), зумовили деякі відмінності технології транспортування, укладання та ущільнення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші від традиційної, загальноприйнятої технології влаштування покриття з асфальтобетону.

Під час виконання капітального ремонту температура навколишнього середовища була переважно нижча $+10^{\circ}\text{C}$, а середня швидкість вітру складала 3-4 м/с.

Ще одна особливість технології влаштування покриття на автомобільній дорозі М 20 (Е 101) „Кіпті-Глухів-Бачівськ” пов’язана з умовами транспортування асфальтобетонної суміші.

Виробничі потужності підрядних організацій, залучених до виконання капітального ремонту даного об’єкту, не дозволили повністю забезпечити будівництво асфальтобетонною сумішшю, тому було прийняте рішення: для забезпечення будівництва матеріалом в повному обсязі використати виробничі потужності ПАТ „АБЗ” – асфальтобетонного заводу розташованого в місті Києві.

Враховуючи відстань транспортування асфальтобетонної суміші з Києва до об’єкта ($\approx 100\text{-}170$ км) і погодні умови, що склались під час виконання робіт з капітального ремонту, перед виконавцями постала серйозна проблема – мінімізувати втрату температури таким чином, щоб з моменту завантаження автосамоскидів сумішшю до моменту завершення ущільнення асфальтобетону його температура не опустилась нижче „критичної”.

Дальність транспортування вплинула на якість ЩМА про що свідчать жирні плями на поверхні які частіше почали з’являтися при збільшенні відстані від заводу (рис. А.24 – А.25).



Рисунок А.24 – Стан ЩМА на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ, дальність транспортування складає приблизно 110 км



Рисунок А.25 – Стан ЩМА на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ, дальність транспортування складає приблизно 160 км

Таблиця А.6 – Коефіцієнт варіації результатів визначення показника стікання при влаштуванні покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на автомобільній дорозі Кіптів-Глухів-Бачівськ

Назва фірми виробника ЩМАС	Коефіцієнт варіації			
	Ступінь розшарування	К-ть щебня	К-ть мінерального порошку	К-ть бітуму
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	0,5	0,07	0,17	0,04
АБЗ м. Ніжин	0,43	0,02	0,08	0,03
ШБУ-14	0,18	0,03	0	0,05
Південьзахідшляхбуд	0,71	0,097	0,23	0,08

Таблиця А.7 – Результати визначення показника стікання при влаштуванні покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на автомобільній дорозі Кіпті-Глухів-Бачівськ

Назва фірми виробника ЦМАС	Км	Ступінь розшарування	К-ть щебня	К-ть мінерального порошку	К-ть бітуму	Б / МП
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	37+600	0,08	58	6	7,5	1,25
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	27+100	0,06	57	8	7,4	0,93
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	24+850	0,09	66	9	6,9	0,77
ПАТ «АБЗ» з-д Фомічова	17+300	0,02	59	7	7,3	1,04
АБЗ м. Ніжин	30+800	0,01	62	8	7,1	0,89
АБЗ м. Ніжин	31+200	0,01	62	7	7,3	1,04
ШБУ-14	1+500	0,02	62	8	6,5	0,81
ШБУ-14	16+320	0,03	60	8	6,8	0,85
ШБУ-14	16+270	0,03	64	3	6,7	0,8
ШБУ-14	15+820	0,03	64	8	6,2	0,78
Південьзахідшлях-буд, АБЗ м. Київ	11+200	0,01	60	5	6,2	1,24
АБЗ м. Ніжин	29+600	0,02	64	7	6,9	0,99
АБЗ с. Атюша, Південьзахідшлях-буд	132+100	0,05	78	8	6,67	0,85
АБЗ с.Атюша, установка в Вінниці Південьзахідшлях-буд	135+550	0,11	68	9	6,79	0,75
АБЗ с. Атюша, установка в Смілі Південьзахідшлях-буд	135+640	0,07	65	9	7	0,78
АБЗ с. Атюша, Південьзахідшлях-буд	138+200	0,03	70	10	5,64	0,56

А.4.6 Результати аналізу натурних досліджень влаштування покриття із ЩМА на просп. Бажана, м. Києва

При проведенні робіт з влаштування ЩМА на проспекті Бажана в м. Києві також спостерігається тенденція до розшарування в залежності від дальності транспортування (рис. А.26 - А.28), хоча показник стікання у ЩМАС відповідав вимогам чинного ДСТУ (табл. А.8).



Рисунок А.26 – Стан ЩМА на проспекті Бажана в м. Києві біля ст. метро «Вирлиця», дальність транспортування складає приблизно 65 км



Рисунок А.27 – Стан ЩМА на проспекті Бажана в м. Києві біля ст. метро «Харківська», дальність транспортування складає приблизно 68 км



Рисунок А.28 – Стан ЩМА на проспекті Бажана в м. Києві біля ст. метро «Осокорки» дальність транспортування складає приблизно 78 км

Таблиця А.8 – Результати визначення показника стікання

Дата	Вміст мінерального порошку	Вміст бітуму	Показник стікання
25.11.11	11,80	6	0,14
26.11.11	11,40	6	0,14
27.11.11	11,50	6,1	0,13
28.11	11,50	6,2	0,14
29.11,	11,30	6,1	0,16
01.12,	10,90	6,1	0,13
02.12,	11,80	6	0,14
03.12,	11,40	6	0,14
04.12,	11,50	6,1	0,13
05.12,	11,50	6,2	0,14
06.12,	11,30	6,1	0,16
07.12,	12,00	6	0,13
08.12,	11,70	6	0,16
09.12,	10,90	6,2	0,14
10.12,	11,20	6	0,15
11.12,	11,00	6,1	0,15
12.12,	11,40	5,9	0,14
13.12,	10,90	5,9	0,12
14.12,	11,30	6	0,16
15.12,	11,30	6,2	0,13
16.12,	11,40	6,1	0,17
17.12,	10,90	6	0,14
18.12,	11,30	6	0,14
19.12,	10,50	6	0,14
20.12,	10,80	6,1	0,14
21.12,	11,10	6	0,15
22.12,	10,70	6,1	0,13
23.12,	11,00	6	0,14
24.12,	11,10	6,2	0,14
Середнє значення	11,255	6,059	0,142
Середнє кв. відхилення	0,345	0,085	0,011
Коефіцієнт варіації	0,031	0,014	0,079

А.5 Результати лабораторних досліджень визначення показника стікання в'язучого

А.5.1 Результати визначення показника стікання в'язучого

Для впливу різних волокон (ТОПЦЕЛ, АНТРОЦЕЛ G) і їх кількості проводили випробування наступних складів наведених в табл. А.9.

Таблиця А.9 – Рецепти ЦМАС

Матеріал	Вміст, %	
	Рецепт 1	Рецепт 2
Щебінь	65	65
Відсів	24	24
МП	11	11
Бітум БНД 90/130	6,3	6,3
Модифікатор NS – 104 для модифікації суміші	-	3

На рис. А.29 і А.30 наведені експериментальні результати впливу кількості волокон на показник стікання як на дорожньому бітумі, так і на бітумі, модифікованому полімером БУТОНАЛ. Результати підтверджують загально відому закономірність і вказують на значний вплив на показник стікання не тільки кількості стабілізуючих волокон, але також і вмісту полімеру в модифікованому бітумі.

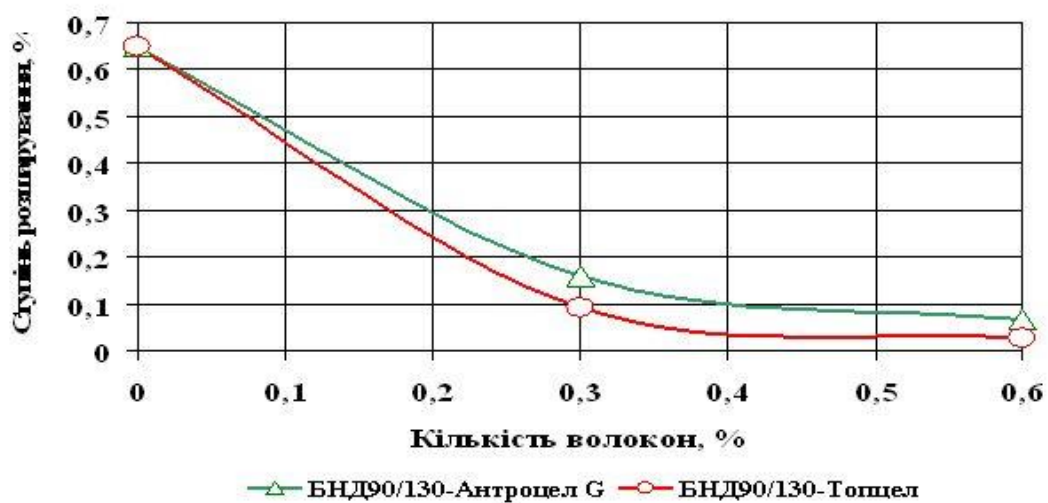


Рисунок А.29 – Результати визначення показника стікання ЦМА в залежності від вмісту і виду стабілізуючої добавки

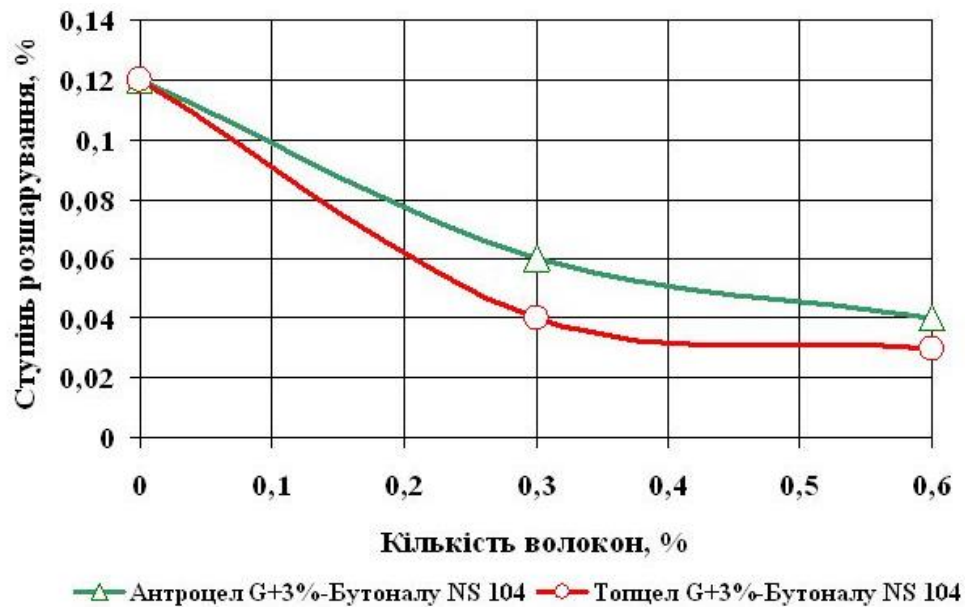


Рисунок А.30 – Результати визначення показника стікання ЦМА в залежності від вмісту і виду стабілізуючої добавки на модифікованому бітумі

Для оцінки впливу температури кількості волокон і часу витримування при постійній температурі випробування проводили з використанням ЦМАС-10, використовували в'язуче БНД 60/90, в якості стабілізуючих добавок застосовували целюлозні волокна TOPCEL. Рецепт ЦМАС-10 наведений в табл. А.10.

Таблиця А.10 – Рецепт ЦМАС-10

Розмір отвору сита	%
10	0
5	65
2,5	11
1,25	4
0,63	4
0,315	2
0,14	3
0,071	1
0,071	10
TOPCEL	0,35; 0,3; 0,25
В'язуче	6.5

Показник стікання визначали в залежності від часу витримування суміші (час витримування складав 0,5; 1; 1,5 та 2 години), в залежності від вмісту волокон (вміст волокон становив 0,3 і 0,35 %) та в залежності від температури

(температура випробувань становила 150, 160 та 170° С). Дані по результатах випробувань наведені на рис. А.31 – А.35.

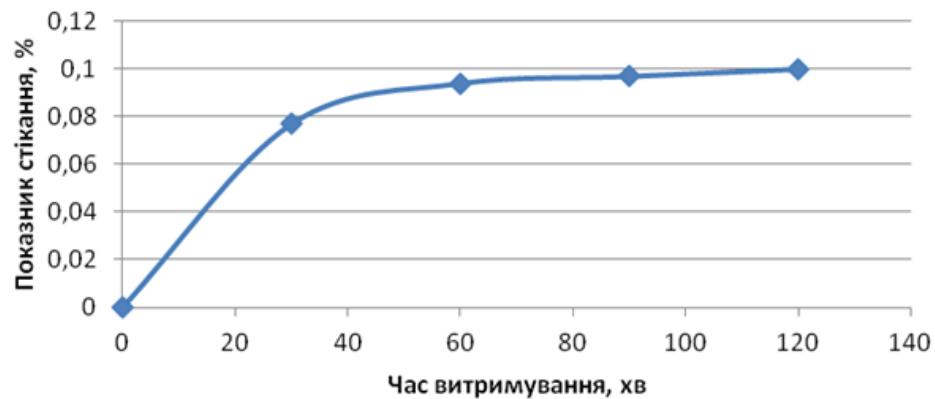


Рисунок А.31 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,3% при температурі 160° С в залежності від часу витримання

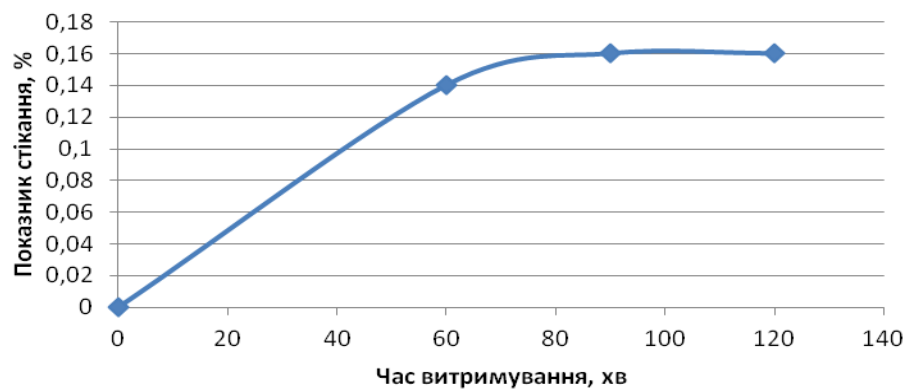


Рисунок А.32 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,3% при температурі 170° С в залежності від часу витримання

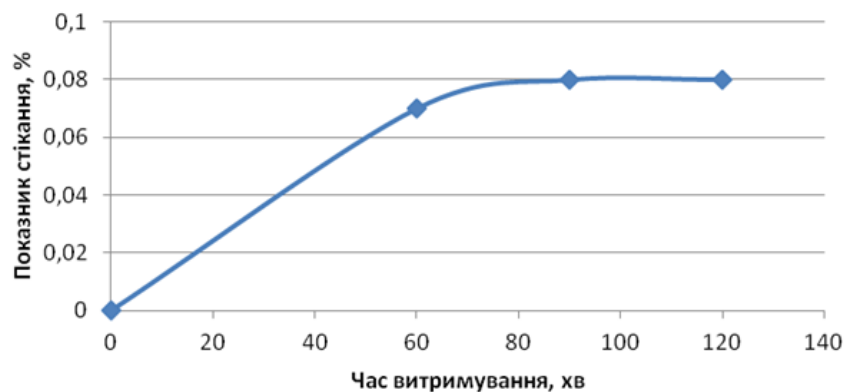


Рисунок А.33 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,35% при температурі 150° С в залежності від часу витримання

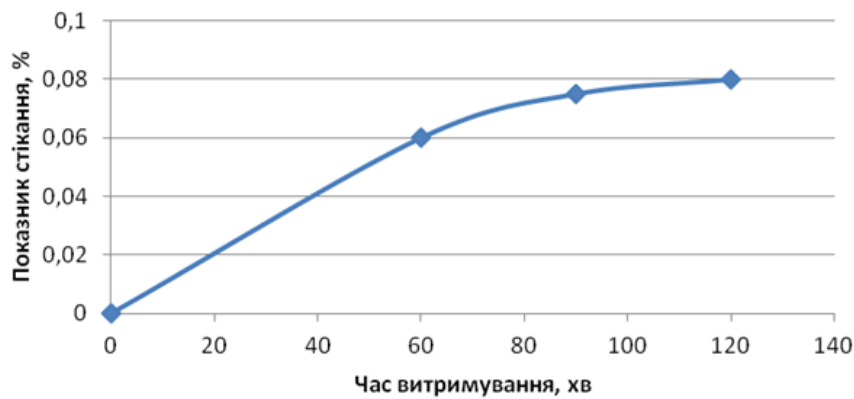


Рисунок А.34 – Результати визначення показника стікання ЩМАС-10 з вмістом волокон 0,35% при температурі 160° С в залежності від часу витримання

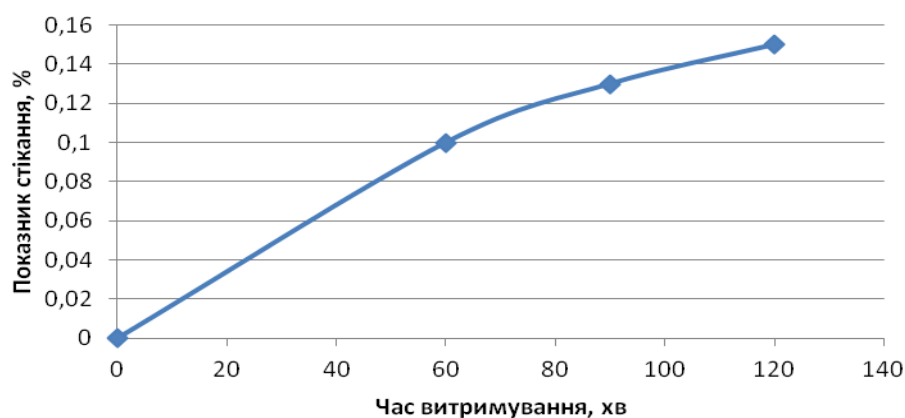


Рисунок А.35 – Результати визначення показника стікання ЩМАС-10 з вмістом волокон 0,35% при температурі 170° С в залежності від часу витримання

Як видно з рис. А.31 – А.35 показник стікання ЩМАС суттєво залежить від температури та вмісту волокон, аналізуючи дані результати можна зробити висновок, що основна маса бітуму витікає за 30-60 хв випробування, а потім швидкість зміни показника стікання від часу суттєво зменшується. Крім того проводили випробування і інших складів різної гранулометрії на розшарування ЩМАС в залежності від складу, температури та часу витримання з використанням різних полімерів, енергозберігаючих добавок, як для ЩМАС-10, так і для ЩМАС-20. Отримані результати випробувань свідчать про подібність закономірності зміни показника стікання від часу витримання.

Це дозволило отримати приведену узагальнену графічну залежність у відносних координатах $V(t=3\text{год.})/V(t=3\text{год.})$ і побудувати номограму зміни показника стікання від часу витримання (рис. А.36).

За допомогою цієї номограми є можливість прослідкувати за значенням показника стікання, якщо час його витримування буде становити більше 1 години. Наприклад, якщо показник стікання для певного складу ЩМАС становитиме при витримуванні протягом 1 години за стандартних умов випробувань значення $V=0,18\%$, то за даною номограмою при умові витримування у накопичувачі протягом 2-ох годин це значення становитиме $V=0,22\%$.

Це означає, що в такому випадку є небезпека розшарування суміші, тому що показник стікання перевищує допустиме значення $0,2\%$. Враховуючи рекомендації ДСТУ Б В.2.7-127 згідно з приміткою пункту 5.5 що при підборі складу ЩМАС рекомендується, щоб показник стікання в'язучого знаходився в межах від $0,08\%$ до $0,16\%$. У такому випадку, щоб виконати необхідні вимоги для значення показника стікання $0,16\%$ при часі витримування 2 години за допомогою номограми потрібно виконати наступне: із лінії що відповідає значенню $0,18\%$ для часу витримування 2 години опускають вертикальну пряму до перетину з лінією номограми, що відповідає нормативному значенню показника стікання $0,16\%$ і після цього на кривій шукають точку її перетину з вертикальною лінією, що виходить з осі ординат для значення 1 година витримування; потім з цієї точки перетину проводять горизонтальну лінію в сторону осі абсцис, на якій встановлюють значення показника стікання ЩМАС, яке вона повинна мати при стандартному випробуванні через 1 годину витримування, тобто це значення становить $0,12\%$.

Аналогічно для другого нормативного значення показника стікання - $0,08\%$ повторюють описані вище прийоми, що дозволяє встановити показник стікання $0,07\%$, який суміш повинна мати при стандартному випробуванні через 1 годину, якщо термін зберігання у накопичувачі буде становити 2 години.

Таким чином дана методика дозволила обґрунтувати значення показника стікання в залежності від часу витримування у накопичувачі.

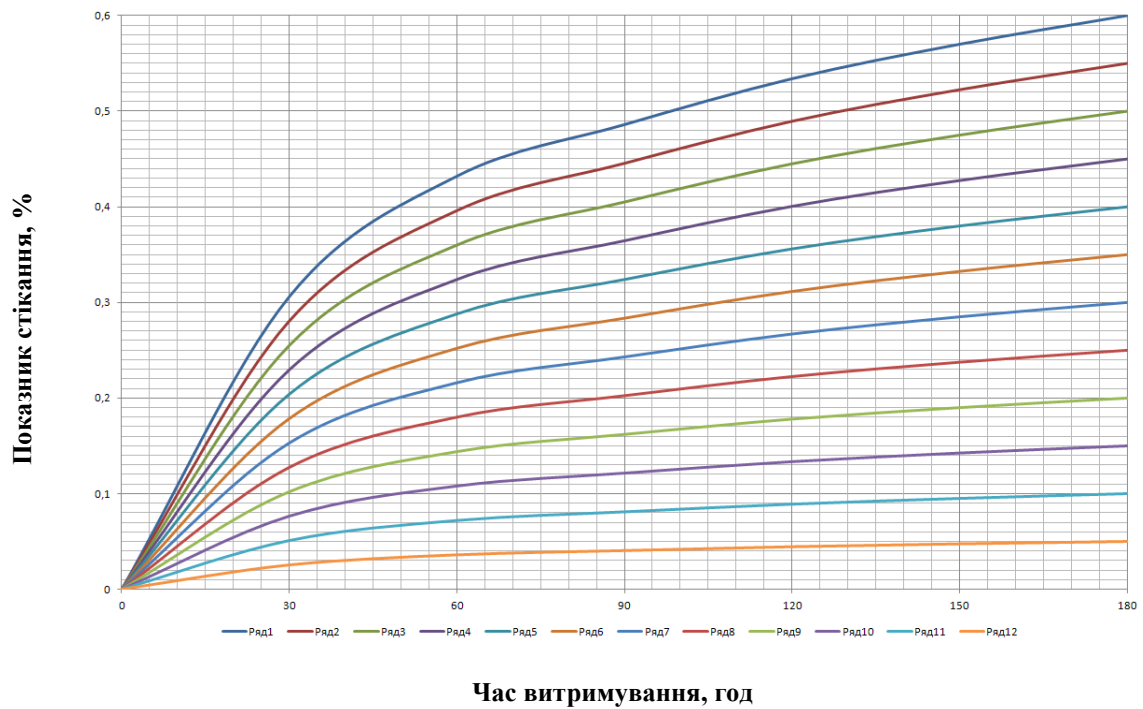


Рисунок А.36 – Результати визначення залежності показника стікання від часу витримання

А.5.2 Результати лабораторних досліджень впливу динамічних коливань при транспортуванні ЦМАС на розшарування суміші

Були проведені дослідження впливу на розшарування суміші часу транспортування (динамічних факторів, пов'язаних з коливаннями кузова при транспортуванні ЦМАС в залежності від відстані або часу транспортування) Дані по результатах випробувань наведені на рис. А.37 – А.39.

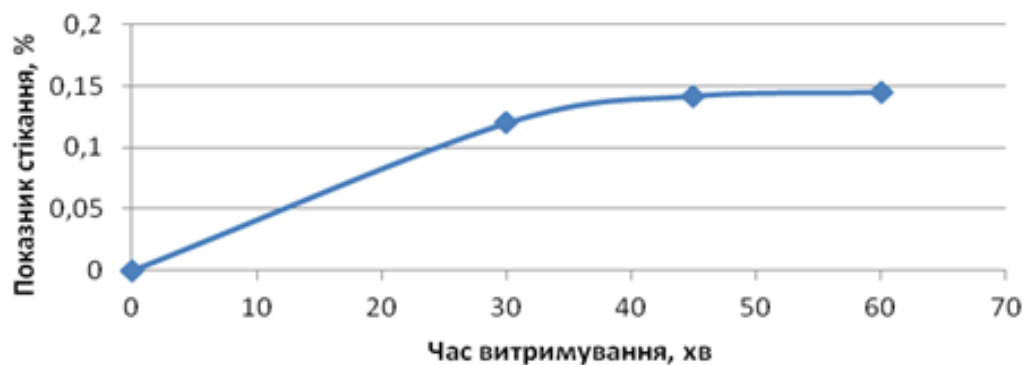


Рисунок А.37 – Результати визначення показника стікання ЦМА-10 з вмістом волокон 0,35 % при температурі 160 °С в залежності від часу транспортування

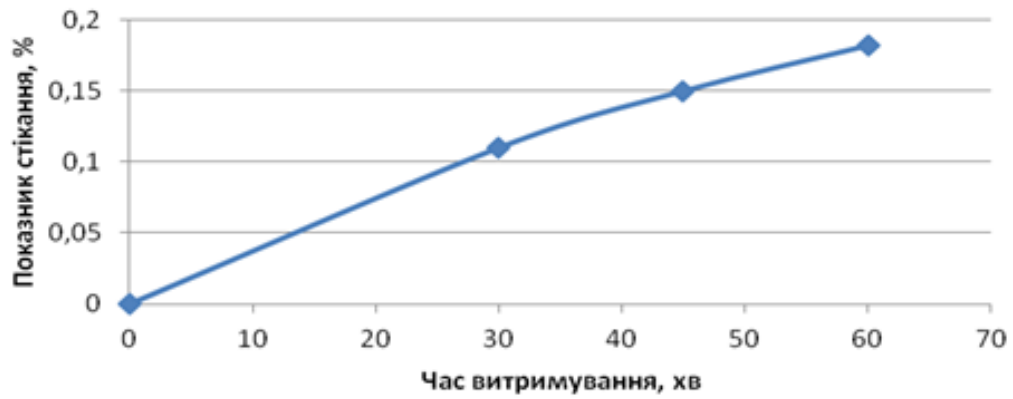


Рисунок А.38 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,3 % при температурі 160 °С в залежності від часу транспортування

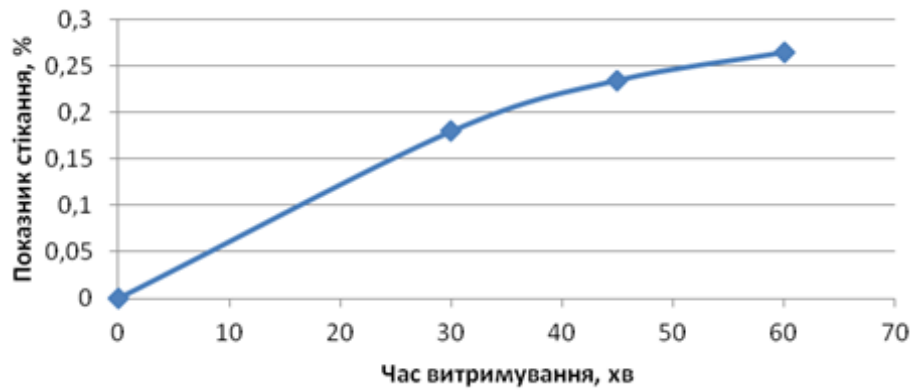


Рисунок А.39 – Результати визначення показника стікання ЦМАС-10 з вмістом волокон 0,25 % при температурі 160 °С в залежності від часу транспортування

При проведенні досліджень залежності показника розшарування від вмісту стабілізуючої добавки та часу транспортування ЦМАС можна зробити висновок, що показник розшарування суттєво залежить від часу транспортування, особливо при невеликій кількості волокон (рис. А.40 – А.42).

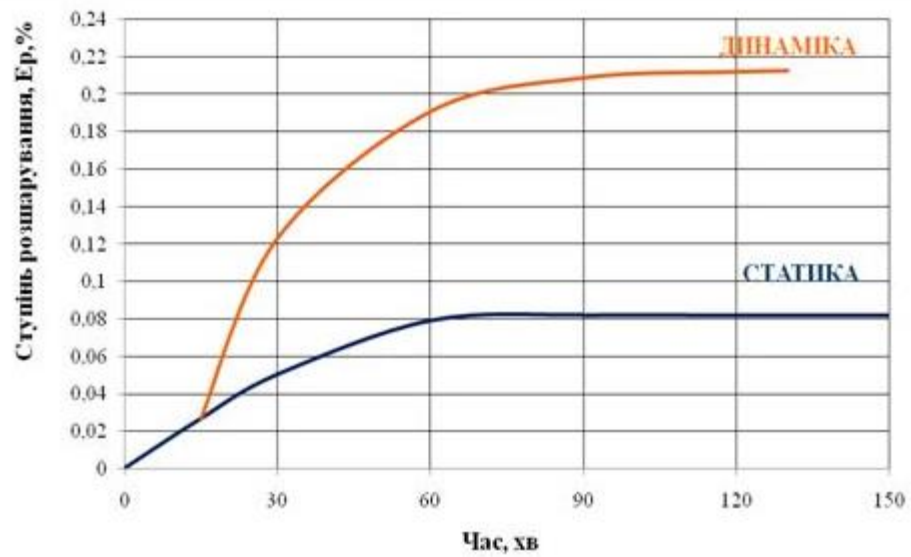


Рисунок А.40 – Графік залежності показника стікання від часу витримування для ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90

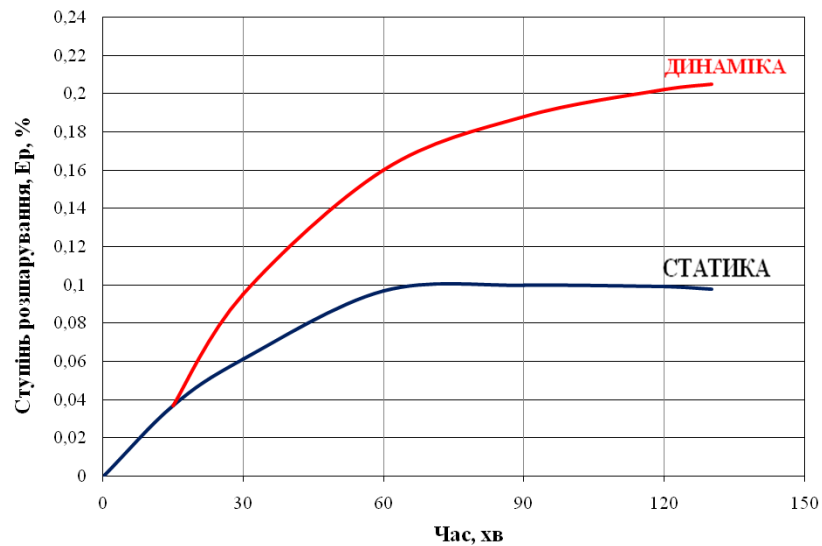


Рисунок А.41 – Графік залежності показника стікання від часу витримування для ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером Кратон

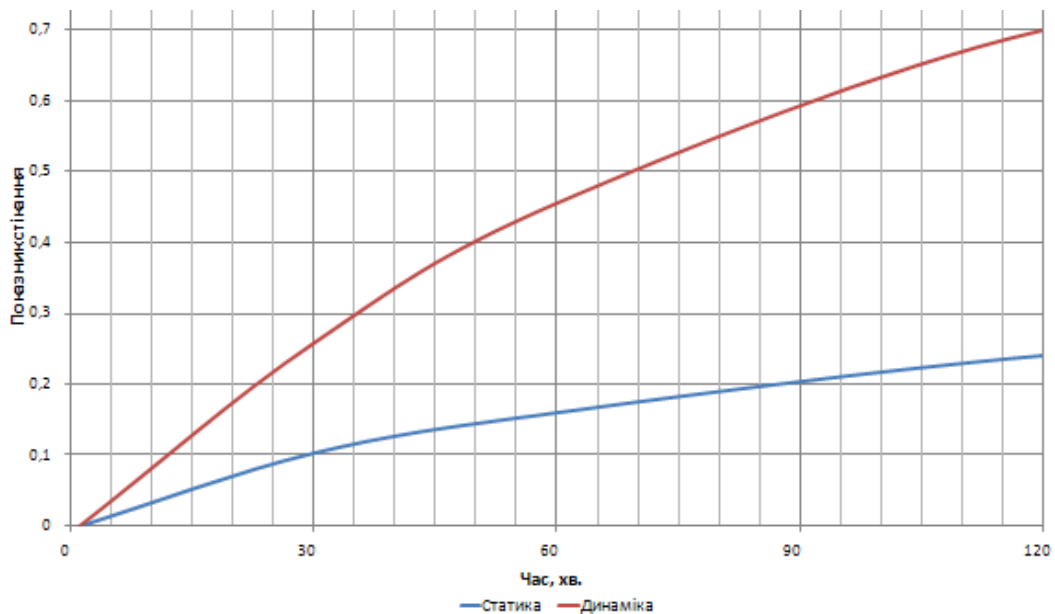


Рисунок А.42 – Графік залежності показника стікання від часу витримання та від часу транспортування для ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90 (ЩМА 20, 7%) 60/90 (ЩМА 20, 7% + 0.3% Wormmix)

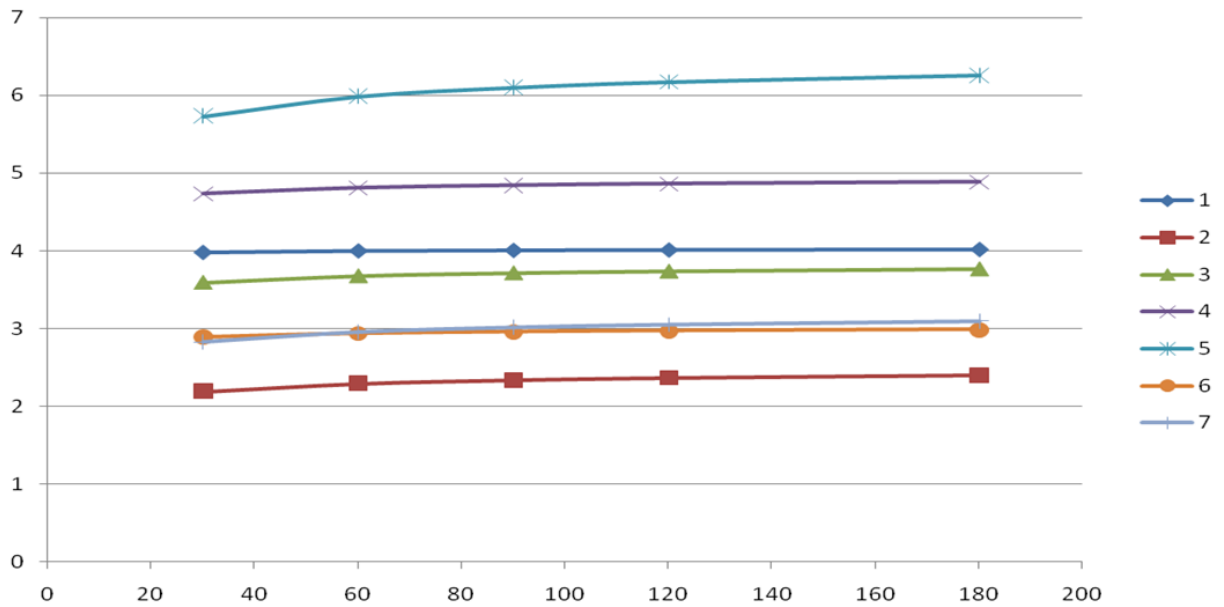
Коефіцієнт тиксотропії це відношення показника стікання в'язучого при певному часу витримки, отриманого за вдосконаленою методикою ($V_{\text{дин}}$), до показника стікання при тому ж часу витримки, отриманого за стандартною методикою ($V_{\text{ст}}$):

$$K_{\text{тст}} = V_{\text{дин}} / V_{\text{ст}}, \quad (\text{A.1})$$

Часову залежність коефіцієнта тиксотропії ЩМАС, приготованого з використанням бітуму БНД 60/90, наведено на рис.А.43.

Також для підтвердження даних таблиці проводились комбіноване випробування однієї суміші (ЩМА 10 на бітумі БНД 60/90) за наступною схемою:

- 1) Визначали показник стікання за стандартною методикою ДСТУ при витриманні у сушильній шафі 30 хв (імітація витримання суміші в накопичувальному бункері не більше 0,5 год). В результаті випробування показник стікання становив 0,07%.



1 – ЩМА 10, 7% в'яжучого БНД 60/90, 2 – ЩМА 20, 7% в'яжучого БНД 60/90, 3 – ЩМА 20, 7% в'яжучого БНД 60/90 + 3% Sasobit, 4 – ЩМА 10, 7% в'яжучого БНД 60/90 + 1.5% Iterlow, 5 – ЩМА 20, 7% в'яжучого БНД 60/90 + 3% Rediset, 6 – ЩМА 20, 7% в'яжучого БНД 60/90 + 1.5% Iterlow, 7 – ЩМА 20, 7% в'яжучого БНД 60/90 + 0.3% Wormmix

Рисунок А.43– Залежність коефіцієнту тиксотропії від часу для різних складів ЩМА на бітумі БНД 60/90

2) Потім визначали показник стікання суміші яка була витримана у сушильній шафі 30 хв і ще 30 хв піддавалася динамічним впливам з описаною вище методикою (імітація витримування суміші в накопичувальному бункері не більше 0,5 год та імітація транспортування суміші протягом 0,5 год). В результаті випробування показник стікання становив 0,23%.

3) Наступним етапом було визначення показник стікання суміші яка була витримана у сушильній шафі 30 хв і ще 60 хв піддавалася динамічним впливам (імітація витримування суміші в накопичувальному бункері не більше 0,5 год та імітація транспортування суміші протягом 1 год). В результаті випробування показник стікання становив 0,23%.

А.6 Результати лабораторних досліджень визначення фізико-механічних та розрахункових характеристик ЩМА

Результати лабораторних досліджень визначення фізико-механічних та розрахункових характеристик ЩМА наведені в табл. А.11 – А.12 та на рисунках А.44 – А.49.

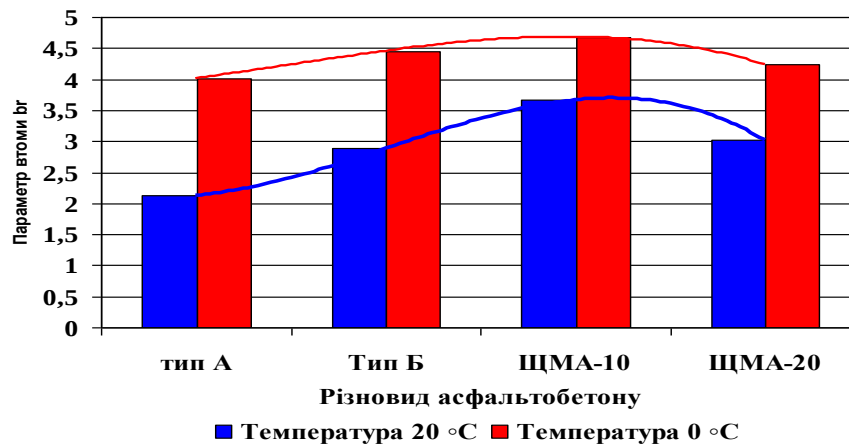


Рисунок А.44 – Залежність параметра втоми b_r від температури для різних асфальтобетонів

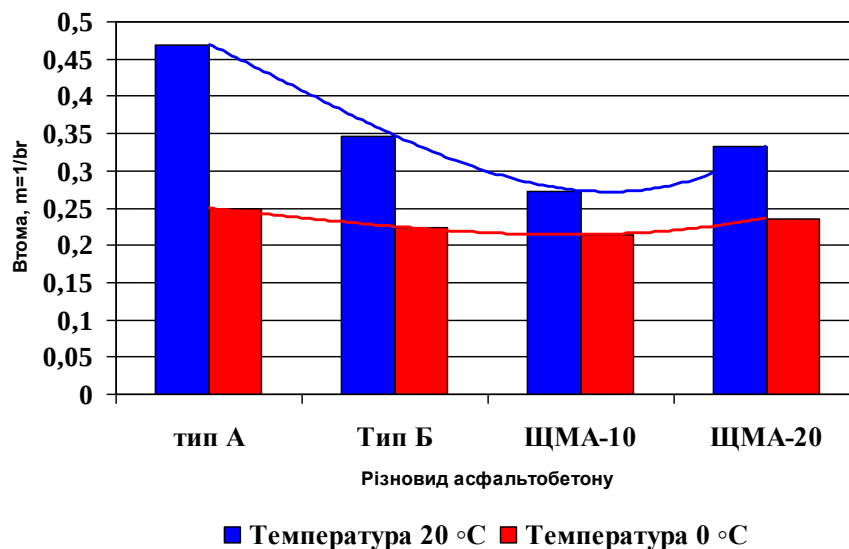


Рисунок А.45 – Залежність втоми m від температури для різних асфальтобетонів

Таблиця А.11 – Фізико-механічні характеристики асфальтобетонних зразків-балочок (АБ.ЩМПА-10)

Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127	Результати випробувань
1. Середня щільність суміші, г/см ³		2,35
Дійсна щільність, г/см ³		2,4
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	1,5-3,5	2,08
3. Водонасичення лабораторних зразків, % за об'ємом, не більше	1,0-3,0	1,85
4. Границя міцності при стиску за температури випробування, МПа, не менше: при 20 ⁰ С при 50 ⁰ С	2,1 0,60	4,18 1,79
5. Коефіцієнт внутрішнього тертя, не менше	0,91	0,94
6. Зчеплення при зсуві за температури 50 ⁰ С, МПа, не менше	0,16	0,33
7. Границя міцності на розтягування при розколюванні за температури 0 ⁰ С, МПа	2,0-6,0	2,92
Границя міцності на розтягування при згині за температури 0 ⁰ С, МПа		9,47
8. Водостійкість при тривалому водонасиченні, не менше	0,90	0,97
Модуль пружності при температурі, °С, МПа 0 +10 +20		6214,10 3522,91 1607,07
Показники довговічності Вτ bτ m		30019 3,896 0,26
Коефіцієнт тріщиностійкості (відповідно до методики з ДСТУ А/Б для умов Києва) при 10 циклах заморожування – відтавання		0,93
Коефіцієнт тріщиностійкості (відповідно до методики з ДСТУ А/Б для умов Києва попередньо водо насичених зразків по експрес методиці) при 10 циклах заморожування – відтавання		0,87
Коефіцієнт тріщиностійкості (відповідно до методики з ДСТУ А/Б для умов Києва) при 20 циклах заморожування – відтавання (10 циклів заморожування – відтавання потім водонасичення по експрес методиці + 10 циклів)		0,87
Примітка: умови проведення випробувань температура повітря – 22°С, відносна вологість – 72 %, атмосферний тиск – 729 мм.рт.ст		

Таблиця А.12 – Результати визначення границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону

Шифр	b	h	T, °C	V, мм/хв	P, кгс	l, см	R зг., МПа	R зг (сер.), МПа	δ	Сер. квадратичне відхилення, σ	Коефіцієнт варіації, Кв%	Місце в рейтингу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип А	4,12	4	20	128	253,88	12	6,93	6,56	0,14	0,37	5,71	6
	4,04	4,04			226,54	12	6,18					
	4,4	4			216,54	12	5,54					
Тип А (з полімером)	4,1	4,1	0	128	334,54	12	8,74	7,70	0,54	0,73	9,53	4
	4,14	4,04			292,77	12	7,80					
	4,14	4,4			292,77	12	6,57					
Тип Б	4,02	4,05	20	128	253,74	12	6,93	7,17	0,06	0,25	3,51	5
	4,07	4,07			278,28	12	7,43					
	4,07	4,07			268,28	12	7,16					
Тип Б(з полімером)	4,12	4,05	0	128	317,05	12	8,44	9,00	0,31	0,56	6,17	3
	4,1	4,01			350	12	9,56					
ЩМА-10	4,05	4,02	20	128	193,22	12	5,31	5,29	0,00	0,02	0,41	8
	4,05	4,03			192,61	12	5,27					
						12						
ЩМПА-10	4,07	4,04	0	128	400	12	10,84	10,07	0,60	0,77	7,66	2
	4,22	4,06			359,24	12	9,30					
						12						
ЩМА-20	4,09	4,05	20	128	202,31	12	5,43	5,94	0,64	0,80	13,46	7
	4,07	4,04			241,66	12	6,55					
	4,1	4			212,49	12	5,83					
ЩМПА-20	4,1	4,08	0	128	349,62	12	9,22	11,13	16,36	4,04	36,35	1
	4,17	3,93			475,43	12	13,29					
	4,17	3,93			389,19	12	10,88					

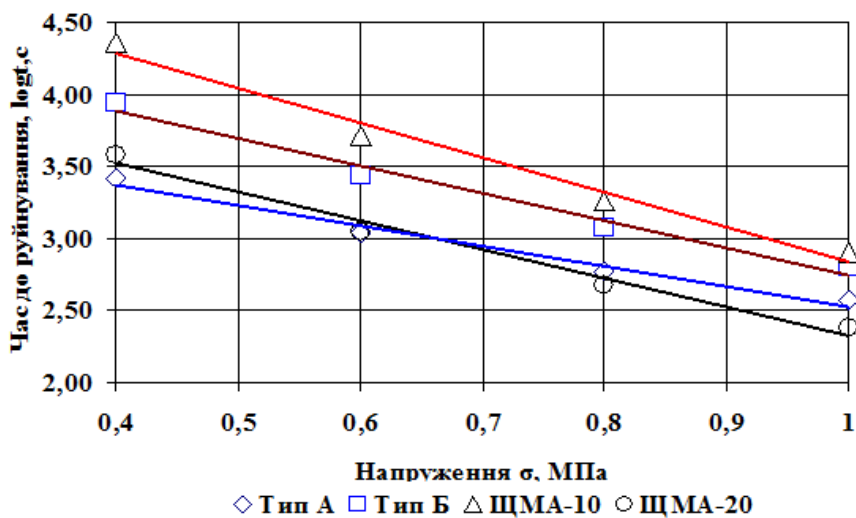


Рисунок А.46 – Залежність часу до руйнування різних асфальтобетонів від різних напружень при температурі +20 °C

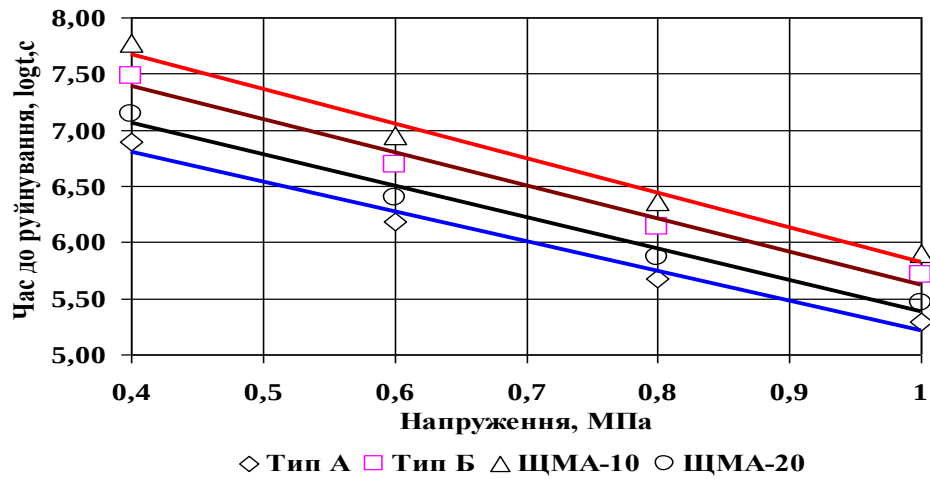


Рисунок А.47 – Залежність часу до руйнування різних асфальтобетонів від різних напружень при температурі 0 °С

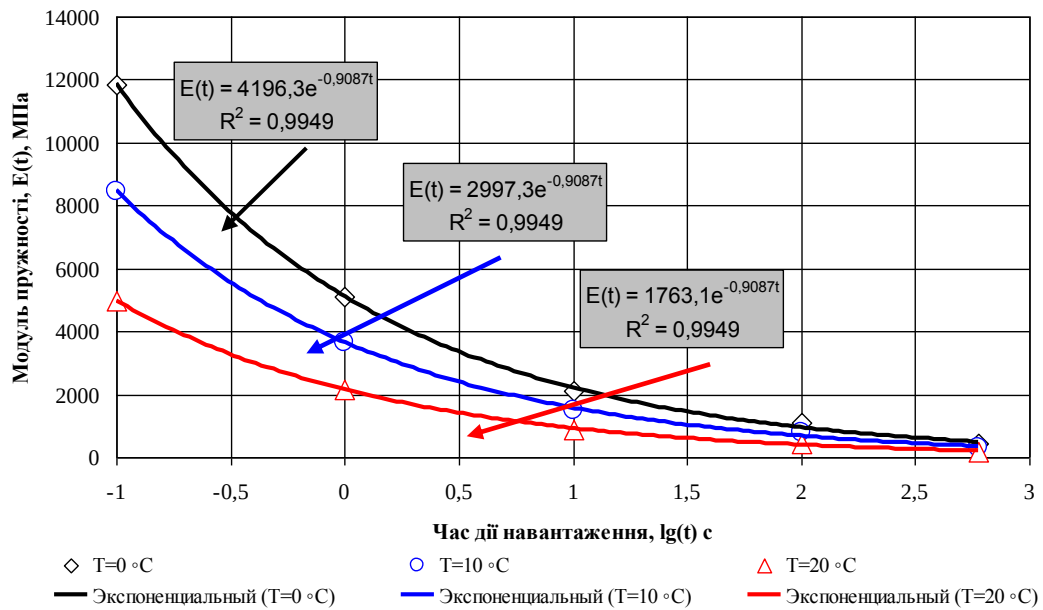


Рисунок А.48 – Залежність модуля пружності щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА-10) від часу дії навантаження і температури

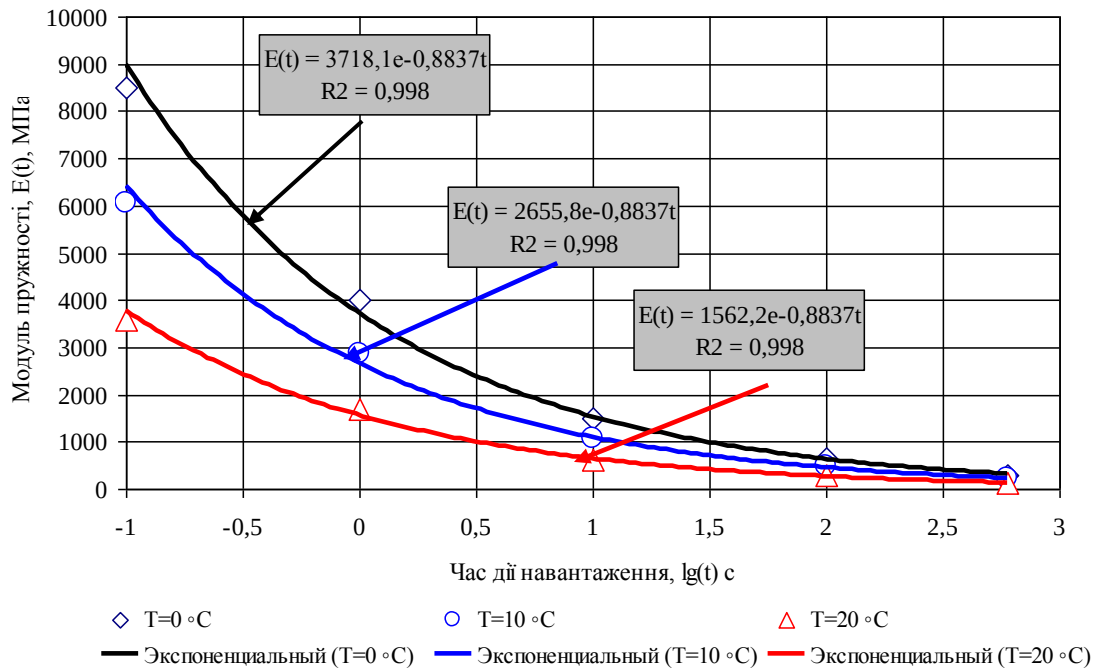


Рисунок А.49 – Залежність модуля пружності асфальтобетону (типу А-20, БНД 60/90) від часу дії навантаження і температури

А.7 Результати лабораторних досліджень визначення показників колієстійкості

Результати випробування визначення показників колієстійкості різних асфальтобетонів наведені на рис. А.50.

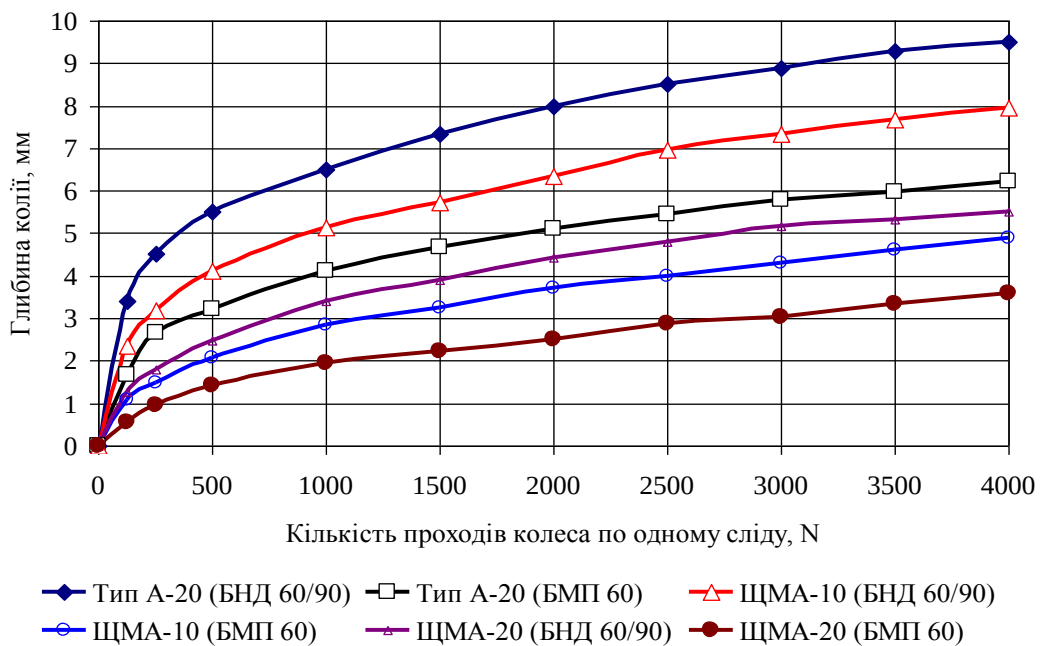


Рисунок А.50 – Залежність глибини колії в асфальтобетонах в залежності від кількості проходів металевого колеса при навантаженні 700 Н і температурі 50 °С

A.8 Результати лабораторного визначення міцності на зчеплення при зсуві асфальтобетонних шарів

Результати лабораторного визначення міцності на зчеплення при зсуві асфальтобетонних шарів представлені в таблиці А.14.

Таблиця А.14 – Розрахункове граничне напруження при зсуві

Шифр секції	Параметри режиму випробувань		Зсувне дотичне зусилля, кгс					Коефіцієнт тертя, f	Питоме зчеплення С, МПа	Розрахункове дотичне напруження, МПа для розрахункових автомобілів/коєф. запасу		Зсув між шарами АБ	Тип АБ	Структурна міцність зв'язків після зсуву зменшилася в ..., разів
	тиск на зразок σ, МПа	швидкість ходу плити пресу, мм/хв	фактичне значення, Тп	Середнє значення, Тп(сер)	напруження, МПа Коефіцієнт варіації, Кв, %	площа зразка, S см2	Експериментальне значення дотичного напруження τ, МПа			А1	А2			
3 ¹¹	0,1	3	260	253	4,56	167	0,15	0,54	0,29	<u>0,722</u> 1,23	<u>0,614</u> 1,48	між 1 та 2	ЩМА20/ А20	1,07
			240											
	0,3		450	433	6,66		0,26							
			400											
	3 ¹¹ С		0,1	195	193		6,51							
180		205												
0,3		380	372	2,80	0,22									
		360				375								
3 ¹¹		0,1	370	378	2,02	0,23	0,37	0,26	<u>0,556</u> 0,95	<u>0,482</u> 1,16	між 2 та 3	А20/ А20		
	385		380											
	0,3	490	502	2,51	0,30									
		500				515								
	3 ¹¹ С	0,1	310	310	3,23	0,19							0,40	0,25
320			300											
0,3		440	443	2,35	0,26									
		455				435								

Продовження таблиці А.14

Шифр секції	Параметри режиму випробувань		Зсувне дотичне зусилля, кгс					Коефіцієнт тертя, f	Питоме зчеплення С, МПа	Розрахункове дотичне напруження, МПа для розрахункових автомобілів/коэф. запасу		Зсув між шарами АБ	Тип АБ	Структурна міцність зв'язків після зсуву зменшилася в ..., разів
	тиск на зразок σ , МПа	швидкість ходу плити пресу, мм/хв	фактичне значення, Гп	Середнє значення, Гп(сер)	Коефіцієнт варіації, Кв, %	площа зразка, S см2	дотичне напруження $[\tau]$, МПа			A1	A2			
З ¹²	0,1	3	300	285	5,26	167	0,17	0,55	0,31	<u>0,75</u> 1,28	<u>0,64</u> 1,54	між 1 та 2	ЩМА20/ А20	1,10
			270											
			285											
	0,3		470	470	2,13		0,28							
			460											
			480											
З ¹² С	0,1	210	202	3,79	167	0,12	0,55	0,28	<u>0,72</u> 1,23	<u>0,61</u> 1,47	між 1 та 2	ЩМА20/ А20		
		200												
		195												
	0,3	390	385	1,30		0,23								
		380												
		385												
З ¹²	0,1	260	253	4,56	167	0,15	0,54	0,29	<u>0,722</u> 1,23	<u>0,614</u> 1,48	між 2 та 3	А20/ А20		
		240												
		260												
	0,3	450	433	6,66		0,26								
		400												
		450												
З ¹² С	0,1	195	193	6,51	167	0,12	0,53	0,27	<u>0,694</u> 1,19	<u>0,588</u> 1,41	між 2 та 3	А20/ А20		
		180												
		205												
	0,3	380	372	2,80		0,22								
		360												
		375												

Продовження таблиці А.14

Шифр секції	Параметри режиму випробувань		Зсувне дотичне зусилля, кгс					Коефіцієнт тертя, f	Питоме зчеплення С, МПа	Розрахункове дотичне напруження, МПа для розрахункових автомобілів/коэф. запасу		Зсув між шарами АБ	Тип АБ	Структурна міцність зв'язків після зсуву зменшилася в ..., разів
	тиск на зразок σ , МПа	швидкість ходу плити пресу, мм/хв	фактичне значення, Гп	Середнє значення, Гп(сер)	Коефіцієнт варіації, Кв, %	площа зразка, S см2	дотичне напруження $[\tau]$, МПа			А1	А2			
2 ¹	0,1	3	180	172	6,06	167	0,10	0,19	0,13	<u>0,282</u> 0,48	<u>0,244</u> 0,59	між 1 та 2	ЩМА10/ ЩМА20	1,08
			160											
			175											
			240	235	5,63		0,14							
			220											
2 ^{1С}	0,3	3	245	133	7,81	167	0,08	0,19	0,12	<u>0,272</u> 0,46	<u>0,234</u> 0,56	між 1 та 2	ЩМА10/ ЩМА20	1,08
			145											
			130											
			125	198	3,85		0,12							
			200											
2 ¹	0,1	3	190	217	3,53	167	0,13	0,13	0,12	<u>0,224</u> 0,38	<u>0,198</u> 0,48	між 2 та 3	ЩМА20/ А20	1,17
			210											
			270											
			265											
			2 ^{1С}	0,3	3		250							
180														
170														
165	213	2,71				0,13								
210														
2 ^{1С}	0,3	3	220	213	2,71	167	0,13	0,12	0,10	<u>0,196</u> 0,33	<u>0,172</u> 0,41	між 2 та 3	ЩМА20/ А20	1,17
			210											
			210											
			210											
			210											

Закінчення таблиці А.14

Шифр секції	Параметри режиму випробувань		Зсувне дотичне зусилля, кгс					Коефіцієнт тертя, f	Питоме зчеплення С, МПа	Розрахункове дотичне напруження, МПа для розрахункових автомобілів/коэф. запасу		Зсув між шарами АБ	Тип АБ	Структурна міцність зв'язків після зсуву зменшилася в ..., разів
	тиск на зразок σ, МПа	швидкість ходу плити пресу, мм/хв	фактичне значення, Тп	Середнє значення, Тп(сер)	Коефіцієнт варіації, Кв, %	площа зразка, S см2	дотичне напруження [τ], МПа			А1	А2			
2 ²	0,1	3	220	218	3,50	167	0,13	0,46	0,25	<u>0,618</u> 1,06	<u>0,526</u> 1,26	між 1 та 2	ЩМА10(м)/ ЩМА20(м)	1,06
			210											
			225											
	0,3		380	372	2,05		0,22							
			365											
			370											
2 ² С	0,1	3	180	180	2,78	167	0,11	0,45	0,24	<u>0,6</u> 1,03	<u>0,51</u> 1,23	між 1 та 2	ЩМА10(м)/ ЩМА20(м)	1,06
			175											
			185											
	0,3		330	332	3,79		0,20							
			345											
			320											
2 ²	0,1	3	250	252	3,03	167	0,15	0,17	0,14	<u>0,276</u> 0,47	<u>0,242</u> 0,58	між 2 та 3	ЩМА20(м)/ А20	1,18
			245											
			260											
	0,3		300	310	3,23		0,19							
			320											
			310											
2 ² С	0,1	3	220	212	4,92	167	0,13	0,15	0,12	<u>0,24</u> 0,41	<u>0,21</u> 0,5	між 2 та 3	ЩМА20(м)/ А20	1,18
			200											
			215											
	0,3		275	262	4,81		0,16							
			250											
			260											

Літера "С" в шифрі секції означає, що зразок було випробувано повторно, після зсуву.

Літера "С" в шифрі секції означає, що зразок було випробувано повторно, після зсуву.

ДОДАТОК Б
ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Розрахунок економічної ефективності виконували за загально відносною, використовуючи залежність

$$E = \left[(Z_1 + Z_{c1}) \cdot \left(\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} \right) + E_e - (Z_2 + Z_{c2}) \right] \cdot A_2, \quad (\text{Б.1})$$

де Z_1 і Z_2 – приведені витрати на виготовлення матеріалів з урахуванням вартості транспортування по базовій і новій технології; Z_{c1} і Z_{c2} – приведені витрати на виконання робіт на об'єкті по базовій і новій технології; $(P_1 + E_H)/(P_2 + E_H)$ – коефіцієнт, що враховує термін служби нової будівельної конструкції в порівнянні з базовим варіантом; E_e – економія в сфері експлуатації нових будівельних конструкцій за весь період їхньої служби в порівнянні з базовими конструкціями; A_2 – обсяг будівельних робіт, E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; P – коефіцієнт реновації визначається за формулою

$$P = \frac{E_H}{(1+E)^{N-1}}, \quad (\text{Б.2})$$

де N – термін служби об'єкту при застосуванні технічних рішень
Для проведення по фактору часу використовується формула

$$a_N = (1 + E_N)^N \quad (\text{Б.3})$$

де a_n – коефіцієнт приведення;

N – період часу приведення в роках, тобто число років, відокремлюючи затрати і результати данного року від початку розрахункового року.

Визначали значення E при різних співвідношеннях витрат на реалізацію технології ($Z_T = Z + Z_C$) базової Z_{1T} і нової Z_{2T} технології, а також при різному співвідношенні термінів служби дорожнього одягу по базовій N_1 і новій N_2 технології ремонту тріщин.

Приведені затрати Z_T визначаються за формулою:

$$Z_T = Z_{TO} a_i,$$

де Z_{TO} – одночасні витрати в i -тому році

Після проведення аналізу було отримано значення зміни показника коефіцієнта економічної ефективності K_e , від функції відносного терміну служби дорожнього одягу N_2/N_1 , при різних відносних значеннях витратах Z_{2T}/Z_{1T} (табл. Б.1)

Таблиця Б.1 – Зміна показника коефіцієнта економічної ефективності в залежності від відносного терміну служби N_2/N_1 дорожнього одягу при різному значенні витрат Z_{2T}/Z_{1T}

Z_{2T}/Z_{1T}	Коефіцієнт економічної ефективності при значеннях N_2/N_1			
	1	1.5	2	2.5
0,5	0,07	0,16	0,21	0,26
1,0	0	0,1	0,17	0,21
1,5	-0,12	0,05	0,11	0,17
2,0	-0,21	0,03	0,07	0,11

Отримані результати свідчать, що економічна ефективність підвищується зі збільшенням показника відносного строку служби N_2/N_1 і тим у більшій мірі, чим менші відносні витрати Z_{2T}/Z_{1T} . При цьому темп росту показника ефективності K_e трохи зменшується при збільшенні терміну служби.

Приклад визначення економічної ефективності застосування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття

Для порівняння розглядали 2 варіанти асфальтобетонної суміші які будуть застосовуватися при влаштування асфальтобетонного покриття:

I варіант – базовий який передбачає у якості шару асфальтобетонного покриття застосування асфальтобетону традиційного гранулометричного складу.

II варіант – який передбачає у якості шару асфальтобетонного покриття застосування щебенево-мастикового асфальтобетону

Результати розрахунку економічної ефективності

Результати розрахунку економічної ефективності

Відповідно до ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування з урахуванням зміни №1 для дороги III технічної категорії з інтенсивністю руху транспортних засобів до 3000 одиниць на добу, строк експлуатації дорожнього одягу при влаштуванні покриття із ЩМА становить 15 років, а міжремонтний строк експлуатації дорожнього покриття (поточний середній ремонт) становить в середньому 8 років, за таких же умов строк експлуатації дорожнього одягу при влаштуванні покриття із асфальтобетону традиційного складу становить 12 років, а міжремонтний строк експлуатації дорожнього покриття (поточний середній ремонт) становить в середньому 6 років.

Тому затрати на експлуатаційне утримання при умові, що тріщини і ямковий ремонт виконують відразу після утворення дефектів згідно чинних нормативних документів для II варіанту будуть менші у порівнянні з варіантом I

На основі формули Б.1 застосування покриття із ЩМА порівнюючи з покриттям із традиційного асфальтобетону, та враховуючи що необхідність виконання дрібного ремонту покриття із ЩМА настане пізніше ніж при застосуванні традиційного асфальтобетону, а також включаючи вищу вартість ЩМА, економічний ефект вже через 6 років експлуатації становить 440000 грн./км.

ДОДАТОК В

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК



Київської міської державної адміністрації

Україна, 01014, м. Київ, вул. Командарма Каменєва, 6, тел. : (044) 285-03-36, факс (044) 284-75-20, e-mail: avtodor@kievavtodor.net.ua, www.kievavtodor.net.ua

23.12.2017 № 27-12-05/1403

На № _____ від _____

АКТ
впровадження наукових розробок
аспіранта Барана С.А..

Наукові дослідження Барана С.А. були використані в комунальній корпорації «Київавтодор» при проектуванні, будівництві, ремонтах та утриманні із щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття вулиць і доріг м. Києва. Було враховано отримані розрахункові характеристики щебенево-мастикового асфальтобетону, рецептурно-технологічні параметри щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей при їх застосуванні, а також особливості поведінки щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття під час його експлуатації на автодорожніх об'єктах м. Києва

Головний інженер

КК «Київавтодор»

Мельниченко В.Г.

Товариство з обмеженою відповідальністю СБМУ „ПІДРЯД”

м. Вишневе, Київської обл.
вул. Київська, 31 А

Тел: / 04598/ 5-22-23

Факс: /044/ 502-94-92

Ідентифікаційний код 25298093, р/р 26003011063602
в АТ „АЛЬФА-БАНК” м. Києва, МФО 300346

«14» 02 2020 р.

№ 33

Д О В І Д К А

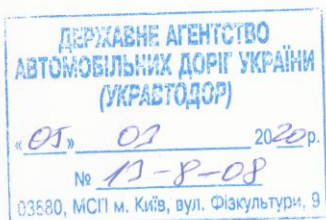
про впровадження наукових розробок аспіранта
кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії
Національного транспортного університету
Барана Сергія Анатолійовича

Наукові розробки аспіранта С.А. Барана отримали практичне використання на асфальтобетонному заводі ТОВ СБМУ "Підряд". Враховано рецептурно-технологічні параметри приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей та були запроєктовані склади щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей підвищеної довговічності для влаштування щебенево-мастикового асфальтобетонного дорожнього покриття.

Директор ТОВ СБМУ "Підряд"



Г.Т. Жабський



ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок
асистента кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії
Національного транспортного університету
Барана Сергія Анатолійовича

Даною довідкою підтверджується, що Баран С.А. є співрозробником наступних галузевих стандартів та рекомендацій у галузі дорожнього господарства:

1. ДСТУ Б В.2.7-127:2006 Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. Зміна № 2
2. ГБН В.2.3-218-547:2010 Споруди транспорту. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах.
3. СОУ 45.2-00018112-062:2010 Методи випробування на кільцевому стенді
4. СОУ 42.1-37641918-099:2013 Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення.
5. СОУ 42.1-37641918-100:2013 Будівельні матеріали Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації.
6. СОУ 42.1-37641918-107:2013 Синтетичні матеріали для армування асфальтобетонного покриття. Оцінка довговічності при циклічному навантаженні.
7. СОУ 45.2-00018112-046:2009 Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві.
8. СОУ 45.2-00018112-058:2010 Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому.
9. СОУ 45.2-00018112-059:2010 Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності.
10. СОУ 45.2-00018112-062:2010 Конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг. Методи випробування на кільцевому стенді.
11. СОУ 45.2-00018112-076:2012 Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик.
12. М 21476215/02070915 – 713:2012 Методика визначення циклічної довговічності армуючих синтетичних матеріалів асфальтобетонних шарів.
13. Р В.2.3-218-02070915-797:2011 Рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах.
14. Р В.2.3-218-21476215-734:2008 Рекомендації з застосування армуючих синтетичних матеріалів різного типу для армування асфальтобетонних шарів при
15. Р В.2.3-218-21476215-795:2011 Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття

Вищенаведені нормативні документи розроблені на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України. Дані розробки знайшли практичне застосування при проектуванні та влаштуванні асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг загального користування, застосування яких дозволяє підвищувати довговічність асфальтобетонного покриття.

Начальник Відділу інноваційного розвитку

О. Ю. Тимошук

Д О В І Д К А
про впровадження наукових розробок аспіранта
Національного транспортного університету
Барана Сергія Анатолійовича
(науковий керівник проф. Мозговий В.В.)

Результати наукових досліджень С. А. Барана застосовані при вирішенні питань щодо влаштування дорожнього одягу на об'єктах будівництва «Онур Тааххут Ташимаджилик Іншаат Тіджарет Ве Санаї Анонім Ширкеті».

При цьому використовувались розробки, направлені на підвищення довговічності дорожнього одягу.

Голова Представництва
«Онур Тааххут Ташимаджилик Іншаат
Тіджарет Ве Санаї Анонім Ширкеті»



Карахметоглу Емре

ДОДАТОК Г
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Куцман А.М., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты. Минск. 2008. №2. С. 16-20.

2. Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Куцман А.М. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд // Дороги и мосты. Москва. 2015. Вып. 34/2. С.102-112.

3. Баран С.А., Мозговой В.В., Куцман А.М, Боровик И.И. и др. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. Бишкек. 2016. Вып 1(51). С. 107-113.

4. Baran S., Mozgovyi V., Kutsman A. Improvement is strength calculation for pavement structure of rail station areas // Transbud – 2017, Structure, Materials and Infrastructure. 2017. volume 116.

- Статті у фахових виданнях:

5. Баран С.А. Особливості розрахунку дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2008. Вип. 75. С. 167-172.

6. Баран С.А., Ольховой Б.Ю, Куцман А.М., Прудкий А.В, Мозговой В.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. Макіївка. 2010. Вип. 2010-1(81). С. 174-180.

7. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю.. Розширення будівельного сезону за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів при низьких

температурах // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2012. № 3. С. 30-32.

8. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю., Ольховий Б.Ю. Забезпечення якості випробувань асфальтобетонної суміші при визначенні її зернового складу та вмісту бітуму // Управління проектами, системний аналіз і логістика: наук. журнал. Київ. 2013. № 11. С. 69-76.

9. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М. Міцність дорожнього одягу – основа якості автомобільних доріг // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2013. №4 (234). С. 32-35.

10. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю., Нимчук К. И. Выбор энергосберегающих добавок для расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода с щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 90. С.49-56.

11. Баран С.А., Куцман А.Н., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В. и др. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2015. Вип. 55. С. 20-26.

12. Баран С.А., Мозговий В.В., Боровик І.І. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 57. С.77-83.

13. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.

14. Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговий В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Одеса. 2016. Вип. 63. С.167-173.

15. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2017. Вип. 100. С.68-76.

16. Баран С.А., Куцман О.М., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Бондар В.М. Аналіз термомеханічних процесів в асфальтобетонних шарах автомобільних доріг // Вісник ОДАБА. Одеса: зб. наук. праць. 2017. Вип. 67. С. 96-102.

17. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ваціліна О.В., Лебедева І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.

18. Баран С.А., Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. Київ. 2019. Вип. 1 (43). С. 26-38.

- Оpubліковані праці апробаційного характеру:

19. Баран С.А., Мозговий В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Куцман О.М., Жуков В.Є. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2009. Вип. 33. С. 137-142.

20. Баран С.А. Підвищення гідроізоляційної здатності та якості щебеневомасикового асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 131-138

21. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Куцман А.М. Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах // Сборник статей и докладов ежегодной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Москва. 2011. С.202-211.

22. Баран С.А., Ольховый Б.Ю. Стойкость теплых асфальтобетонов к накоплению пластичных деформаций // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ. 2013. Т.1. С.283 – 288.

23. Баран С.А., Мозговий В.В., Куцман О.М., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С. 294-302.

24. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховый Б.Ю., Опрощенко І.О., Куцман О.М., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С.283-293.

- Свідоцтва та патенти:

25. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), B01F 7/00. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Онищенко А.М., Козлов П.В., Прудкий О.В., Лозовська І.Ю., Ольховый Б.Ю., Лаптева Н.С., Жуков О.О., Резник Ю.Л. Дата реєстрації 10.02.2010.

26. Патент України на корисну модель № 123373 Україна, МПК (2018.01), E01C 11/12. Пристрій для підготовки проб бітумів, модифікованих полімерами, до випробування на розшарування при зберіганні / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

27. Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення „Комп'ютерна програма розрахунку довговічності щебенево-мастикового асфальтобетону”, 09.08.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

28. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір „Методика конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону”, 21.12.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

29. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 62287 Україна. Літературний письмовий твір практичного характеру «Стандарт організації України. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення. СОУ 42.1-37641918-009:2013 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.10.2015 р.

30. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 67973 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах ГБН В.2.3.-547;2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.09.2016 р.

31. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 68416 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому. СОУ 45.2-00018112-058:2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 01.11.2016 р.

32. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 73075 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Визначення розрахункових модулів пружності. СОУ 45.2-00018112-059 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Чиженко Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

33. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 83830 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Оцінка

впливу комплексних модифікаторів на основі вторинного поліетилену низького тиску на властивості бітумних в'язучих» // Мозговий В.В., Баран С.А., Лаптева Н.С., Маркович А.П. Дата реєстрації 20.12.2018 р.

- Оpubліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

34. Баран С.А., Мозговий В.В., Герасимов В.В., Жуков В.Є., Онищенко А.М., Куцман О.М. Покращення якості асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання модифікатора дорожнього бітуму К-1 // Дороги і мости: зб. наук праць. Київ. 2008. Вип. 9. С. 172-174.

35. Баран С.А., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Лютенко В.А. Підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 84-87.

36. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Покращення гідроізоляційної здатності асфальтобетонного покриття мостів за рахунок застосування теплих асфальтобетонних сумішей // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. зб. Київ. 2013. Вип. 50. С. 97-102.

37. Баран С.А., Бондар В.М. Оцінка впливу тиксотропії на якість щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 117-122.

38. Баран С.А., Куцман О.М. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 143-146.