

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЦМАН ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

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

_____ О. М. Куцман

Науковий керівник –
Мозговий Володимир Васильович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ О. Ю. Усиченко

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Куцман О. М. Забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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. Мережа автомобільних доріг загального користування України складається із доріг державного значення – 52,0 тис. км і доріг місцевого значення – 117,6 тис. км. Із загальної протяжності доріг із твердим покриттям, дороги з удосконаленим типом (цементобетон, асфальтобетон, чорні шосе) становлять 76,7 %, решта – з перехідним типом (білі щебеневі і гравійні, бруківки). Удосконалений тип покриття представлений переважно нежорсткими дорожніми одягами (із них 81 % мають асфальтобетонне покриття, 10,3 % — чорне), і лише 8,7 % доріг мають цементобетонні покриття.

На сьогоднішній день, на дорогах України з нежорсткими одягами спостерігається велика кількість руйнувань, що є ознакою вичерпання несучої здатності дорожньої конструкції. До основних видів руйнувань асфальтобетонних покриттів відносяться тріщини, вибоїни, викришування, лущення, тощо. Одним із найбільш поширених та найбільш небезпечних руйнувань є тріщини (як повздовжні, так і поперечні). Основними причинами утворення тріщин є дія погодно-кліматичних факторів, транспортних навантажень, зміна властивостей матеріалів у часі. Як наслідок, такі пошкодження покриття нежорсткого дорожнього одягу в процесі експлуатації значно зменшують їх термін служби. Через відсутність достатньої кількості коштів, роботи з нормативного ремонту відкладаються на невизначений термін. В результаті, кількість і об'єм руйнувань збільшується і площа пошкоджень може досягати до 60% -80% від загальної площі покриття.

Крім того, характерною особливістю автомобільних доріг України є та обставина, що більшість доріг, були розраховані на навантаження групи Б (60 кН на вісь) або групи А (100 кН на вісь). З часом, в процесі служби покриття, зростає не тільки інтенсивність руху, але і збільшуються транспортні навантаження. Це відбувається, головним чином, за рахунок збільшення частки важких транспортних засобів у транспортному потоці, їх вантажопідйомності, навантажень на осі, тиску на контактні колеса з дорогою, тощо. Тому, нормативними документами було передбачено збільшення розрахункового навантаження до 115 кН на вісь, а пізніше – до 130 кН на вісь. Проте, процес руйнування дорожнього одягу відбувається із значним відставанням належного підсилення конструкцій існуючих автомобільних доріг до необхідних параметрів по міцності. Як показують розрахунки проф. Б.С. Радовського, збільшення автомобільних навантажень на дорожній одяг викликає скорочення їх терміну служби в 2 – 4 рази.

Оприлюднена інформація про існуючий стан автомобільних доріг, свідчить що більше ніж 90% протяжності не відповідає вимогам щодо міцнісних показників для забезпечення руху сучасних транспортних засобів. Тому, існує нагальна потреба в підсиленні конструкцій дорожнього одягу, за рахунок виконання капітального ремонту або реконструкції. Найбільш поширеними практичними заходами вирішення таких задач є влаштування асфальтобетонних шарів підсилення. Однак, забезпечення їх довговічності не достатньо вивчене з урахуванням комплексного впливу сучасних факторів.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю рішення важливої практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

У першому розділі проаналізовані причини виникнення тріщин в дорожніх покриттях. Відзначено дослідження вчених по розробці критеріїв тріщиностійкості дорожніх покриттів і відповідних показників стійкості асфальтобетону до утворення тріщин. Вибір правильного критерію визначає успіх заходів щодо забезпечення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів підсилення.

За останнє десятиліття вивченню міцності та довговічності асфальтобетонних шарів при навантаженні було присвячено багато наукових праць вітчизняних і закордонних вчених. На основі проведених досліджень створено аналітично-розрахунковий апарат, що дозволяє виконувати розрахунки напружено-деформованого стану шарів дорожнього одягу при оцінці їх довговічності. Однак, напружено-деформований і граничний стани конструкції дорожнього одягу значною мірою залежать від термореологічних властивостей матеріалів дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, які відображають вплив часу дії навантаження за різних температур на міцність конструкції в цілому, що не враховується в існуючих методах розрахунку дорожнього одягу. Крім того, виконані дослідження носять розрізнений характер, що до цього часу не дозволило на єдиній методологічній основі розробити комплексний метод розрахунку асфальтобетонних шарів з урахуванням часу дії транспортного навантаження та термореологічних властивостей матеріалів. Також відсутній аналіз впливу конструктивних особливостей основи та реологічних характеристик матеріалів її шарів та ґрунту земляного полотна на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення.

У другому розділі виконані теоретичні дослідження щодо впливу часу дії навантаження та дотичних «перерізаючих» напружень на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу, з урахуванням термо-в'язко-пружних характеристик матеріалів. Ці дослідження базуються на використанні основних положень теорії термо-в'язко-пружності та положень кінетичної теорії міцності твердих тіл, що застосовуються дослідниками наукової школи проф. Б.С Радовського.

Розглянуті основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу. В результаті теоретичних досліджень отримані аналітичні залежності для опису граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення від спільної дії горизонтальних нормальних розтягуючих напружень і вертикальних «перерізаючих» напружень,

що виникають при проїзді транспортних засобів, із врахуванням часу дії навантаження.

На основі застосованих теоретичних аспектів дослідження, розроблено метод оцінки довговічності асфальтобетонних шарів підсилення із врахуванням вертикальних «перерізаючих» напружень, а також, удосконалено метод встановлення термо-реологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які застосовуються для оцінки довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень щодо довговічності асфальтобетонних шарів підсилення. Ці дослідження полягали у виконанні лабораторних випробувань та числового експерименту, а також натурних обстежень шарів підсилення.

За результатами лабораторних випробувань встановлено, що міцнісні показники асфальтобетону, а також рівень напружень, що виникають в матеріалі при дії навантаження суттєво залежать від швидкості деформування або часу дії навантаження.

За результатами числового експерименту встановлено, що істотну роль при прогнозуванні довговічності асфальтобетонного покриття та його розрахунку на міцність відіграють температури, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких весняних температурах, а й при інших значеннях температури. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується міцність асфальтобетону і його стійкість до впливу повторних навантажень. Довговічність покриття при позитивних температурах може зменшуватись в кілька разів.

Натурні обстеження також вказують на те, що час до моменту утворення тріщин (як першопричини інших руйнувань) залежить від стану основи, часу дії навантаження і температури.

У четвертому розділі наведена практична реалізація результатів дослідження. Заходи щодо підвищення довговічності асфальтобетонних шарів

підсилення можуть бути розділені на такі основні групи: матеріалознавчі, конструктивні, технологічні.

Матеріалознавчі заходи полягають у виборі оптимального для даних умов будівництва виду асфальтобетону. При цьому, слід передбачити застосування добавок (модифікуючих, енергозберігаючих, тощо), які забезпечать регулювання властивостей асфальтобетону в необхідному діапазоні для даних конкретних умов.

Конструктивні заходи полягають у раціональному розподілі матеріалів по товщині та/або застосування армуючих синтетичних матеріалів.

Технологічні заходи полягають у забезпеченні зчеплення між шарами, виборі правильного режиму ущільнення асфальтобетону.

Як показує практика, для максимального ефекту по забезпеченню довговічності асфальтобетонних шарів підсилення дає комбінація матеріалознавчих, конструктивних, технологічних заходів, із врахуванням конкретних умов роботи даного об'єкту.

Виходячи із вище зазначених підходів, були розроблені:

Методика розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині;

Методика розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону.

Ключові слова: шари підсилення, нежорсткий дорожній одяг, довговічність, напружено-деформований стан, тріщини.

Список публікацій здобувача

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

1. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты: научн.-техн. журнал «БелдорНИИ». –2008. – № 2. – С. 16-20.

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

3. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., 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. – 2016. – Вып. 1(51). – С. 107-113.

4. Kutsman A., Baran S., Mozgovyi V. 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. Куцман О.М., Мозговой В.В., Ольховой Б.Ю., Прудкий А.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. – 2010. – Вип. 1(81). – С. 174-180.

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

7. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., 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. – 2013. – № 11. – С. 69-76.

8. Куцман О.М., Мозговий В.В., Данчук В.Д., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Онищенко А.М., Мозгова Л.А. Розширення будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого

асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2014. – Вип. 29. – С. 247-258.

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

10. Куцман О.М., Мозговой В.В. та ін. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 57. – С.77-83.

11. Куцман О.М., Лаповська С.Д., Мозговой В.В., Баран С.А. Оцінка міцності цементобетонну існуючого покриття // Будівельні матеріали та вироби: наук.-техн.збірник. – 2016. – Вип. 2-3 (92). – С. 30-34.

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

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

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

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

16. Куцман О.М., Густелєв О.О., Мозговой В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного

напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 18. – С. 128-145.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

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

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

20. Куцман О.М., Паламарчук М.В., Білоцерківська І.В. Особливості проектування асфальтобетонних шарів підсилення. LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2012. – С. 200.

21. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Куцман А.М. Методические особенности определения расчетных характеристик материалов нежестких дорожных одежд // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии ассоциации исследователей асфальтобетона. – Москва, 29-30 января 2014.

22. Мозговий В.В., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунок асфальтобетонного покриття на міцність, з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2017. – С. 182.

23. Alexander Kutsman, Vladimir Mozgovyi, Sergei Baran. Improvement in strength calculation for pavement structure of rail station areas // MATEC Web of Conferences Volume 116. 2017. P XX.

Свідоцтва та патенти:

24. 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.

25. 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.

26. 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.).

27. 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.).

28. 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.

29. 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.

30. 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.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

33. Куцман О.М., Мозговий В.В., Мозговий О.В. Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу мостових споруд // Дороги і мости: зб. наук. праць. ДерждорНДІ. – 2007. – Вип. 7, в 2-х т., т.2. – С. 70-74.

34. Куцман О.М., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Кирієнко О.С. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій // Вісник ХНАДУ. – 2008. – Вип. 40. – С. 65-67.

35. Куцман А.М., Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Прудкой А.В.. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи // Каталог-справочник «Дорожная техника». – 2010. – С. 114-128.

36. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Жуков О.О., Юнак А.Л., Білан О.О. та ін. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві // Вісник ДонНАБА. – Вип. 1(81). – 2010. – С.53- 60.

37. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник – Вип. 43. – 2012. – С. 201-205.

38. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А.. Міцність дорожнього одягу–основа якості автомобільних доріг // Автомобільні дороги. – 2013. – №4 (234). – С. 32-35.

39. Куцман О.М., Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕС у будівництві автомобільних доріг // Вісник НТУ: наук.-тех. збірник, Частина 1: серія «Технічні науки».— 2014 – Вип. 29. – С. 199-205.

40. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Білан О.О. Кільцевий стенд – незамінний помічник у виборі найкращої конструкції дорожнього одягу // Дорожня галузь України. – 2014. – Вип. 4. – С 32-37.

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

SUMMARY

Kutsman O. M. Increasing the Durability of Flexible Pavement with Asphalt Reinforcement Layers. - 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 work. The network of public roads of Ukraine consists of roads of national importance - 52.0 thousand km and roads of local importance - 117.6 thousand km. Of the total length of roads with hard pavement, roads with improved type (cement concrete, asphalt, black highways) make 76.7%, the rest - with transitional type (white rubble and gravel, paving stones). The improved type of coverage is predominantly non-rigid road clothing (81% of which have asphalt and 10.3% of black), and only 8.7% of roads have cement concrete.

To date, a large number of destructions are observed on the roads of Ukraine with non-rigid clothing, which is a sign of exhaustion of the bearing capacity of the road structure. The main types of destruction of asphalt concrete coatings are cracks, potholes, chipping, peeling, and the like. Cracks (both longitudinal and transverse) are one of the most common and most dangerous fractures. The main causes of cracks are the effect of weather and climatic factors, transport loads, changes in the properties of materials over time. As a consequence, such damage to the covering of non-rigid road clothing during operation significantly shortens their service life. In the absence of sufficient funds, regulatory repairs are delayed indefinitely. As a result, the number and volume of damage increases and the damage area can reach up to 60% -80% of the total coverage area.

In addition, a characteristic feature of Ukraine's highways is the fact that most of the roads were designed to load Group B (60 kN per axle) or Group A (100 kN per axle). Over time, during the coverage service, not only the intensity of traffic, but also increases the traffic load. This is mainly due to the increase in the share of heavy vehicles in the traffic stream, their load capacity, axle loads, pressure on the wheel contact with the road, and so on. Therefore, the regulatory documents provided for an

increase in the design load to 115 kN per axle, and later to 130 kN per axle. However, the process of demolition of road clothing is significantly delayed due to the proper reinforcement of existing highway structures to the required strength parameters. As the calculations of prof. B.S. Radovsky, an increase in car loads on road clothes causes a shortening of their service life by 2 - 4 times.

Published information about the current state of the roads, indicates that more than 90% of the length does not meet the requirements for strength indicators to ensure the movement of modern vehicles. Therefore, there is an urgent need to reinforce road construction designs by overhauling or renovating. The most common practical solutions to such problems are the arrangement of asphalt reinforcement layers. However, their longevity has not been sufficiently studied, given the complex impact of current factors.

Thus, the urgency of the work due to the need to solve an important practical problem - to increase the durability of asphalt layers reinforcement of non-rigid road clothing.

The first section analyzes the causes of cracks in road surfaces. The research of scientists on the development of the criteria of crack resistance of pavements and corresponding indicators of resistance of asphalt concrete to the formation of cracks is noted. Choosing the right criterion determines the success of measures to ensure the fracture toughness of asphalt reinforcement layers.

Over the last decade, many scientific works of domestic and foreign scientists have been devoted to the study of the strength and durability of asphalt layers during loading. On the basis of the conducted researches an analytical and settlement apparatus has been created, which allows to perform calculations of the stressed-deformed state of the layers of road clothing when assessing their durability. However, the stress-strain and boundary states of the roadwear design depend to a large extent on the thermo-rheological properties of the roadwear materials and the soil of the canvas, which reflect the effect of loading time at different temperatures on the strength of the structure as a whole, which is not taken into account in existing methods of calculation. In addition, the studies carried out are disparate in nature, which so far has not allowed a single methodological basis to develop a comprehensive method of calculating asphalt concrete layers, taking into account the

time of transport load and the thermo-rheological properties of materials. There is also no analysis of the influence of the structural features of the substrate and the rheological characteristics of the materials of its layers and soil of the soil on the durability of asphalt reinforcement layers.

In the second section, theoretical studies on the effect of load time and tangential "shear" stresses on the durability of asphalt concrete layers of reinforcement of non-rigid road clothing are made, taking into account the thermo-viscoelastic characteristics of the materials. These studies are based on the use of the basic principles of the theory of thermo-viscosity and elasticity and the provisions of the kinetic theory of strength of solids used by researchers of the scientific school of prof. BS Radovsky.

The basic calculation schemes of work of asphalt concrete layers of strengthening of non-rigid road clothes are considered. As a result of theoretical studies, analytical dependences have been obtained to describe the limiting state of asphalt reinforcement layers from the joint action of horizontal normal tensile stresses and vertical "cutting" stresses that occur during the passage of vehicles, taking into account the load time.

Based on the applied theoretical aspects of the study, the method of estimation of durability of asphalt concrete reinforcement layers was developed, taking into account vertical "cutting" stresses, as well as the method of establishing thermo-rheological characteristics of road-building materials used for estimation of durability of asphalt concrete.

The third section presents the results of experimental studies on the durability of asphalt reinforcement layers. These studies consisted of laboratory testing and numerical experimentation, as well as field tests of the reinforcement layers.

According to the results of laboratory tests, it is established that the strength characteristics of asphalt concrete, as well as the level of stresses that occur in the material during loading significantly depend on the speed of deformation or the duration of loading.

According to the results of the numerical experiment, it is found that the temperatures that change in the annual and daily modes play a significant role in predicting the durability of the asphalt and its calculation for strength. Tensile

stresses in the coating occur not only at low spring temperatures but also at other temperature values. Thus, as the temperature rises, the strength of asphalt and its resistance to repeated loads naturally decreases. The durability of the coating at positive temperatures can be reduced several times.

On-site examinations also indicate that the time to crack formation (as the root cause of other fractures) depends on the condition of the substrate, load time, and temperature.

The fourth section describes the practical implementation of the study results. Measures to increase the durability of asphalt-reinforced layers of reinforcement can be divided into the following main groups: material science, structural, technological.

Material science measures are to choose the type of asphalt concrete that is optimal for these conditions of construction. In this case, it is necessary to provide for the use of additives (modifying, energy-saving, etc.), which will ensure the regulation of the properties of asphalt concrete in the required range for the given specific conditions.

Design measures are to rationally distribute materials by thickness and / or the use of reinforcing synthetic materials.

Technological measures are to ensure the adhesion between the layers, the choice of the right mode of compaction of asphalt concrete.

As practice shows, for the maximum effect on ensuring the longevity of asphalt-eton layers, a combination of material, structural, technological measures is given, taking into account the specific conditions of operation of this object.

Based on the above approaches, the following were developed:

Method of calculation of asphalt concrete coverings of the increased durability on resistance of fatigue fracture from tensile bending;

Method of calculation of layers of reinforcement of non-rigid road clothing with the use of reinforced asphalt concrete.

Keywords: reinforcement layers, non-rigid roadwear, durability, stress-strain state, cracks.

Список публікацій здобувача

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

1. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты: научн.-техн. журнал «БелдорНИИ». –2008. – № 2. – С. 16-20.

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

3. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., 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. – 2016. – Вып. 1(51). – С. 107-113.

4. Kutsman A., Baran S., Mozgovyi V. 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. Куцман О.М., Мозговой В.В., Ольховой Б.Ю., Прудкий А.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. – 2010. – Вип. 1(81). – С. 174-180.

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

7. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., 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. – 2013. – № 11. – С. 69-76.

8. Куцман О.М., Мозговий В.В., Данчук В.Д., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Онищенко А.М., Мозгова Л.А. Розширення будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2014. – Вип. 29. – С. 247-258.

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

10. Куцман О.М., Мозговий В.В. та ін. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 57. – С.77-83.

11. Куцман О.М., Лаповська С.Д., Мозговий В.В., Баран С.А. Оцінка міцності цементобетонну існуючого покриття // Будівельні матеріали та вироби: наук.-техн.збірник. – 2016. – Вип. 2-3 (92). – С. 30-34.

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

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

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

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

16. Куцман О.М., Густєлев О.О., Мозговий В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 18. – С. 128-145.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

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

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

20. Куцман О.М., Паламарчук М.В., Білоцерківська І.В. Особливості проектування асфальтобетонних шарів підсилення. LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2012. – С. 200.

21. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Куцман А.М. Методические особенности определения расчетных характеристик материалов нежестких

дорожных одежд // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии ассоциации исследователей асфальтобетона. – Москва, 29-30 января 2014.

22. Мозговий В.В., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунок асфальтобетонного покриття на міцність, з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2017. – С. 182.

23. Alexander Kutsman, Vladimir Mozgovyi, Sergei Baran. Improvement in strength calculation for pavement structure of rail station areas // MATEC Web of Conferences Volume 116. 2017. P XX.

Свідоцтва та патенти:

24. 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.

25. 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.

26. 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.).

27. 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.).

28. 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.

29. 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.

30. 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.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

33. Куцман О.М., Мозговий В.В., Мозговий О.В. Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу мостових споруд // Дороги і мости: зб. наук. праць. ДерждорНДІ. – 2007. – Вип. 7, в 2-х т., т.2. – С. 70-74.

34. Куцман О.М., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Кирієнко О.С. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій // Вісник ХНАДУ. – 2008. – Вип. 40. – С. 65-67.

35. Куцман А.М., Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Прудкой А.В.. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи // Каталог-справочник «Дорожная техника». – 2010. – С. 114-128.

36. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Жуков О.О., Юнак А.Л., Білан О.О. та ін. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві // Вісник ДонНАБА. – Вип. 1(81). – 2010. – С.53- 60.

37. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник – Вип. 43. – 2012. – С. 201-205.

38. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А.. Міцність дорожнього одягу–основа якості автомобільних доріг // Автомобільні дороги. – 2013. – №4 (234). – С. 32-35.

39. Куцман О.М., Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕС у будівництві автомобільних доріг // Вісник НТУ: наук.-тех. збірник, Частина 1: серія «Технічні науки».— 2014 – Вип. 29. – С. 199-205.

40. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Білан О.О. Кільцевий стенд – незамінний помічник у виборі найкращої конструкції дорожнього одягу // Дорожня галузь України. – 2014. – Вип. 4. – С 32-37.

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

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП	25
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	30
1.1 Існуючі конструктивні рішення при проектуванні шарів підсилення дорожнього одягу	30
1.2 Умови роботи шарів підсилення дорожнього одягу	35
1.3 Існуючі підходи до розрахунку міцності і довговічності шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу	40
1.4 Висновки по розділу	48
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ	49
2.1 Розрахункові схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення і їх термо-напружено-деформований стан	49
2.2 Встановлення умов граничного стану для оцінки довговічності асфальтобетонних шарів підсилення	54
2.3 Термореологічні характеристики матеріалів	64
2.4 Висновки по розділу	69
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ ПІДСИЛЕННЯ	70
3.1 Формування структури асфальтобетонних зразків, залежно від способів їх приготування	70
3.2 Приготування зразків із асфальтобетону	74
3.3 Методика випробування зразків.....	76
3.5 Вплив добових і річних коливань температури асфальтобетонного покриття при його розрахунку на вигин	79
3.6 Випробування армованого асфальтобетону.....	86
3.7 Методика числового експерименту	96

	24
3.8 Натурні обстеження асфальтобетонних шарів підсилення	97
3.9 Висновки по розділу	97
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	99
4.1 Методика розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині.....	99
4.2. Методика розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону	110
4.3 Дослідження впливу температурних швів з підкріпленням та товщини покриття на напружено-деформованого стан асфальтобетонних шарів підсилення.....	116
4.4. Соціально-економічна ефективність дисертаційних досліджень	128
4.5 Висновки по розділу	131
ВИСНОВКИ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	134
ДОДАТОК А АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ УТВОРЕННЯ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ ПІДСИЛЕННЯ.....	145
ДОДАТОК Б РЕКОМЕНДАЦІЇ З КОНСТРУЮВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	150
ДОДАТОК В РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З АСФАЛЬТОБЕТОННИМИ ШАРАМИ ПІДСИЛЕННЯ	163
ДОДАТОК Г ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК.....	176
ДОДАТОК Д СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	189

ВСТУП

Актуальність теми. Відомо, що на дорогах і вулицях з твердим покриттям у більшості країн світу, у тому числі і в Україні, найбільш поширеними є нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонним покриттям. На сьогоднішній день, згідно офіційної інформації, більшість доріг України потребує відновлення несної здатності у результаті наявності значної кількості руйнувань, що характеризують повне вичерпання критеріїв граничного стану їх дорожнього одягу. До найбільш поширених і небезпечних видів руйнувань відносяться різноманітні тріщини. Основними причинами утворення тріщин є дія погодно-кліматичних факторів та транспортних навантажень, зміна властивостей матеріалів у часі, невідповідність капітальності конструкції дорожнього одягу рівню транспортного навантаження. Як наслідок, такі пошкодження дорожнього одягу в процесі експлуатації значно зменшують їх строк служби. Через відсутність достатньої кількості коштів, роботи з нормативного ремонту відкладаються на невизначений термін. У результаті, кількість і об'єм руйнувань збільшується і площа пошкоджень може досягати до 60-80 % від загальної площі дорожнього одягу.

Особливістю автомобільних доріг України є те, що більшість доріг були розраховані на навантаження групи Б (60 кН на вісь) або групи А (100 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації дорожнього одягу, зросли як інтенсивність руху, так і параметри транспортного навантаження (відбулося збільшення частки великовантажних транспортних засобів у транспортному потоці, підвищення їх загальної маси, навантажень на осі, тиску на контакт колеса з дорогою тощо). Як показують розрахунки проф. Б.С. Радовського, наднормативне збільшення рівня навантажень на 15-30 % викликає скорочення строку служби дорожнього одягу у 2 – 4 рази. Тому, нормативними документами з проектування конструкцій дорожніх одягів у останні роки було передбачено збільшення розрахункового навантаження до 115 кН на вісь, а потім – до 130 кН на вісь. Проте процес належного підсилення конструкцій дорожнього одягу існуючих автомобільних доріг до необхідних параметрів за міцністю відбувається зі значним відставанням від темпів руйнування дорожнього одягу.

Оприлюднена інформація про існуючий стан автомобільних доріг, свідчить що більше ніж 90% їх протяжності не відповідає вимогам щодо міцності для

забезпечення руху сучасних транспортних засобів. Тому, існує нагальна потреба в підсиленні конструкцій дорожнього одягу, за рахунок виконання капітального ремонту або реконструкції. Найбільш поширеними практичними заходами вирішення таких завдань є влаштування асфальтобетонних шарів підсилення. Однак, питання щодо підвищення їх довговічності за рахунок забезпечення тріщиностійкості, з урахуванням комплексного впливу вагомих чинників (таких як спільної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень), ще не достатньо вивчене.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Наукові результати роботи одержані в процесі виконання:

- плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету «Теоретичні основи забезпечення довговічності дорожнього покриття транспортних споруд» (д/б № 23 РК 01031U03173);

плану науково-дослідних робіт Державної служби автомобільних доріг України:

- «Розробити рекомендації з контролю якості щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші і асфальтобетону та прилад для виготовлення зразків із щебенево-мастикового асфальтобетону» (д/б № 72-05 РК 0105U001108);

- «Провести випробування дорожніх одягів різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами та розробити рекомендації з конструювання шарів підсилення» (д/б № 105-09 РК 0109U005581);

- «Провести випробування на кільцевому стенді найбільш перспективних конструкцій дорожнього одягу, що застосовуються для автомобільних доріг різних категорій та розробити рекомендації для їх проектування в розвиток ВБН В.2.3-218-189-2004, ВБН В.2.3-218-186-2004 та ВБН В.2.3-218-008-97» (д/б № 101-12 РК 0112U004832);

- «Провести дослідження та розробити СОУ на метод випробувань монолітних дорожньо-будівельних матеріалів на втому (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004) (д/б № 111-09/28 РК 0109U007695);

- «Розробити СОУ на метод визначення розрахункових модулів пружності

дорожньо-будівельних матеріалів (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (д/б №112-09/29 РК 0109U007696);

- «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 110-11/91 РК 0111U005441).

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу за рахунок підвищення їх стійкості до тріщиноутворення від сумісної дії температурних і горизонтальних нормальних та вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням.*

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі задачі:

- провести аналіз сучасних рішень стосовно підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу;
- розробити розрахункову схему роботи асфальтобетонних шарів підсилення, що урахує дію транспортного навантаження та коливання температури;
- розробити аналітичні залежності для оцінки граничного стану при тріщиноутворенні асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів;
- провести експериментальне дослідження термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, а також міцності і довговічності асфальтобетону від спільної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень;
- розробити практичні рекомендації для забезпечення та підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонні шари підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Методи дослідження – аналітичні з використанням положень теорій теплопровідності, пружності, термов'язкопружності та кінетичної теорії міцності

твердих тіл, а також експериментальні з використанням стандартних та спеціальних методів випробування дорожньо-будівельних матеріалів та конструкцій дорожніх одягів.

Наукова новизна:

- на основі розробленої розрахункової схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення та аналітичних залежностей для оцінки граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при сумісній дії температурних напружень та горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням, на тріщиноутворення в шарах підсилення, з урахуванням термореологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів;
- удосконалено математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення;
- отримав подальший розвиток метод визначення термореологічних характеристик асфальтобетону.

Практичне значення отриманих результатів:

На основі отриманих аналітичних залежностей розроблено методику прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

Удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів.

Отримало подальший розвиток застосування принципів раціонального конструювання асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням стану існуючого дорожнього одягу.

Результати дослідження сприятимуть забезпеченню та збільшенню міжремонтних строків служби асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу і, як наслідок, зменшенню витрат на їх утримання та ремонт, за рахунок підвищення їх стійкості до утворення тріщин.

Особистий внесок здобувача. Отримані автором результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виносяться на захист, відображені в публікаціях, що оприлюднені у фахових виданнях та виданнях іноземних держав. У публікаціях [1-3] автором сформульовано основні чинники, які впливають на напружено-деформований стан дорожнього одягу; вивчено вплив

термореологічних процесів на міцність і довговічність асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу [4-7]; обґрунтовано критерії оцінювання довговічності асфальтобетонних шарів підсилення [1, 4, 8-11].

За результатами досліджень [8, 12-15] було розроблено методику розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині, методику розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 64-70 в 2008-2019 рр.; на Міжнародному Форумі з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів "АВТОДОРЕКСПО" в 2015-2017 рр., «Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали» в 2015 р.. Також, результати роботи знайшли відображення при розробленні нормативних документів та програмного забезпечення, що застосовуються при проектуванні і влаштуванні асфальтобетонних шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 41 публікації: 4 статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 13 статей у фахових виданнях, 6 праць апробаційного характеру, 9 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 8 охоронних документів (2 патент України, 6 свідоцтв України про реєстрацію авторського права).

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 107 найменувань та п'ять додатків. Основний текст викладений на 133 сторінках. Текст ілюструється 44 рисунками і містить 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

1.1 Існуючі конструктивні рішення при проектуванні шарів підсилення дорожнього одягу

Загальновідомі підходи до проектування нежорстких дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами складається з наступних основних етапів [16-18]:

- конструювання варіантів підсилення дорожнього одягу;
- виконання розрахунків для визначення товщини асфальтобетонних шарів підсилення, виходячи з умов забезпечення всіх критеріїв граничного стану конструкцій дорожнього одягу з врахуванням його фактичного стану;
- вибір раціонального варіанту підсилення конструкції дорожнього одягу для виконання капітального ремонту чи реконструкції.

Конструювання дорожнього одягу є найбільш важливим і відповідальним етапом проектування і головним чином опирається на досвід інженерів, наявність сучасних матеріалів і техніки. Крім того, при конструюванні дорожнього одягу необхідно враховувати загальні принципи конструювання і забезпечувати виконання функцій для кожного елементу дорожнього одягу: покриття, основи, додаткової основи.

Конструювання дорожнього одягу при капітальному ремонті повинно забезпечувати раціональне використання дорожньо-будівельних матеріалів існуючого дорожнього одягу, шарів і матеріалів підсилення з урахуванням їх доступності і технологічності. При цьому, як правило, існуюча конструкція дорожнього одягу використовується як додаткова основа, або як основа.

Б.С. Радовським [19, 20] виділено три групи принципів конструювання дорожнього одягу: раціональний розподіл матеріалів по глибині, раціональний розподіл матеріалів по ширині проїжджої частини, раціональне конструювання залежно від зміни умов роботи дорожнього одягу в часі.

Рациональний розподіл матеріалів по глибині повинен передбачати розміщення найміцніших дорожньо-будівельних матеріалів в самих напружених зонах конструкції.

Загальний принцип конструювання дорожнього одягу по товщині полягає в тому, що раціональний розподіл матеріалів по глибині конструкції повинен встановлюватися виходячи із закономірностей її напружено-деформованого стану. Тільки таким шляхом можна одержати конструкції, раціональні з погляду будівельної механіки. Як правило, такі конструкції і характеризуються зниженою матеріаломісткістю, в порівнянні з іншим дорожнім одягом, або при тій же матеріаломісткості - підвищеною міцністю.

Матеріали і в'язучі речовини традиційно розподіляють так, щоб вартість одиниці об'єму шару знижувалася зі збільшенням глибини його розташування від поверхні дорожнього одягу, на який впливає зовнішнє навантаження. Цей принцип вперше запропонував А.Д. Біруля [21, 22], згідно якого оптимальний вид епюри зміни модулів пружності шарів по глибині Z аналогічно зміні вертикального нормального напруження в дорожньому одязі

$$E(z) = E_{\text{макс}} \exp(-z/H \times \ln E_{\text{макс}}/E_{\text{мін}}),$$

де – $E_{\text{макс}}$, $E_{\text{мін}}$ модулі пружності відповідно дорожнього покриття земляного полотна; H – товщина дорожнього одягу.

З урахуванням того, що найбільш небезпечними для шарів дорожнього одягу, укріплених в'язучими, є горизонтальні розтягуючі, а не вертикальні стискаючі напруження, цей принцип був вдосконалений Б.С. Радовським, А.О. Саллем, А.О. Рассказовим, А.Е. Мерзлікіним та іншими [23-25]. Конструювання дорожнього одягу, в такому випадку, слід виконувати розподіляючи шари із застосуванням в'язучих так, щоб найкращим чином використовувати здатність матеріалів чинити опір розтягу при згині дорожнього одягу. Епюра зміни модуля пружності по глибині при цьому, має вигляд двотавра або швелера. У випадку, зміни епюри модуля пружності шарів дорожнього одягу по глибині у вигляді швелера, оптимальним є таке

розташування шарів, коли його нижня «полиця» ширша за верхню, тобто, коли модуль пружності нижнього шару більший аніж модуль пружності верхнього шару [20, 24-25].

Раціональний розподіл матеріалів по ширині проїжджої частини пов'язаний з урахуванням нерівномірності дії навантажень [22, 23]. Наприклад, на багатосмугових автомагістралях умови роботи шарів дорожнього одягу в межах різних смуг нерівноцінні, оскільки вантажні автомобілі великої вантажопідйомності займають дві перші смуги руху, а легкові автомобілі – решта смуг. Тут доцільно проектувати дорожній одяг різної товщини для різних смуг руху. Проте різка відмінність в товщині шарів одягу суміжних смуг при стрибкоподібній зміні жорсткості конструкції може послужити причиною утворення подовжніх тріщин поблизу межі цих смуг. Крім того, влаштування шарів з товщиною, що ступінчасто змінюється, по ширині проїжджої частини приводить до технологічних труднощів.

Ці недоліки виключають при поступовій зміні товщини дорожнього одягу по ширині проїжджої частини. Для цього достатньо надати поверхні ґрунту земляного полотна і шарам основи поперечний ухил, що перевищує ухил поверхні покриття [19, 26].

Конструкції дорожнього одягу з товщиною, що плавно змінюється, по ширині проїжджої частини включені в альбом «Типові конструкції дорожнього одягу для м. Києва», розроблений Київпроектм, ДерждорНДІ та КАДІ і застосовані на ряду об'єктів м. Києва.

Раціональне конструювання дорожнього одягу відповідно до зміни умов її роботи в часі ґрунтується на врахуванні умови роботи дорожнього одягу в річному циклі і в процесі всього терміну служби. Найбільш несприятливі умови в районах з континентальним кліматом при зв'язних ґрунтах земляного полотна створюються весною або восени, коли унаслідок перезволоження знижуються жорсткість і міцність ґрунту. Навпаки, при піщаних ґрунтах найбільш небезпечним може опинитися літо, коли міцність асфальтобетонного покриття і ґрунту найменша. У зв'язку з сезонною нерівноцінністю умов роботи вважається, що раціональним є такий дорожній одяг, для якого запаси міцності

за всіма критеріями граничного стану мало коливаються протягом року. З цієї точки зору близьким до раціональних є дорожній одяг з асфальтобетонними покриттями і основами [27]. У жарку пору року, коли модуль пружності і показники міцності асфальтобетону зменшуються, зростають модуль і опір зсуву зв'язного ґрунту земляного полотна. Навпаки, восени і весною, коли зв'язний ґрунт земляного полотна має знижену несучу здатність, асфальтобетон характеризується підвищеною міцністю і жорсткістю. Неоднорідність умов роботи дорожнього одягу протягом терміну служби обумовлена поступовим підвищенням інтенсивності руху і осьових навантажень. У таких випадках доцільно введення в дорожній одяг шару з матеріалу, що підвищує в часі свою міцність протягом тривалого терміну з темпом, приблизно відповідним темпу зростання інтенсивності руху. Наприклад, шари основи з сумішей на основі малоактивних повільнотверднучих мінеральних в'язучих речовин [25].

Також, в дослідженнях Б.С. Радовського, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, І.П. Гамеляка, В.Я. Савенка, В.К. Жданюка, І.В. Кіяшка, В.М. Ряпухіна, А.Г. Батракової, Д.О. Павлюка, С.К. Головка та інших вчених звернуто увагу, що при конструюванні дорожнього одягу для капітального ремонту прагнення максимально використовувати існуючий дорожній одяг викликає значні проблеми у зв'язку з її неоднорідністю, викликану наявністю різного роду руйнувань і деформацій, нерівномірно розташованих в плані і по товщині конструкції. Дослідження показують, що із збільшенням неоднорідності основи значно збільшується товщина і вартість шарів підсилення [20, 28]. Тому при конструюванні дорожнього одягу для капітального ремонту прагнуть до підвищення однорідності існуючого дорожнього одягу залежно від ступеня її пошкодження. При цьому процедура підготовки існуючого дорожнього одягу до проведення капітального ремонту може містити наступні конструктивно-технологічні прийоми [17, 18, 28-37, 38, 39].

- окремі локальні ремонти по відновленню несучої і розподільчої здатності;

- зняття одного або декількох найбільш пошкоджених шарів нежорсткого дорожнього одягу;
- ресайклінг одного або декількох шарів нежорсткого дорожнього одягу;
- фрагментація жорсткого дорожнього одягу на окремі блоки «безпечних» розмірів;
- повне зняття всіх шарів з подальшою переробкою і повторним повним або частковим використанням регенерованих матеріалів;
- застосування армуючих синтетичних матеріалів.

На практиці для армування асфальтобетонних шарів автомобільних доріг України широке застосування армуючих синтетичних матеріалів (АСМ) розпочалося з 90-х років минулого століття. На початку їх застосування базувалося на досвіді зарубіжних країн і рекомендацій зарубіжних виробників АСМ. З появою першого практичного досвіду і отриманих результатів досліджень з'явилися вітчизняні рекомендації, а згодом, і будівельні нормативи на основі гармонізації європейських стандартів [39, 40, 41]. Рекомендації щодо конструювання дорожнього одягу із застосуванням АСМ, згідно з чинними нормативними документами.

АСМ застосовують:

- для перерозподілу зусиль в конструкції дорожнього одягу;
- для підвищення довговічності та запобігання тріщиноутворенню в асфальтобетонних шарах;
- - для підвищення несучої здатності та збільшення терміну служби конструкції в цілому;
- - для запобігання утворенню відображених тріщин в покритті на тріщинувато-блочній основі.

Завдяки застосуванню АСМ в пакеті асфальтобетонних шарів досягають:

- - зменшення колійності;
- - зменшення тріщиноутворення від втоми;
- - зменшення товщини шарів підсилення;
- - зменшення кількості відображених тріщин.

Отримані результати по визначенню міцності (табл. 1.1) свідчать, що при армуванні асфальтобетону сітками його міцність збільшується, причому це збільшення залежить від швидкості навантаження V_{σ} . Коефіцієнт збільшення міцності $K_{\text{мц}}$ зростає при зменшенні V_{σ} не залежно від виду сітки. Але абсолютне значення цих показників завжди більше у зразків армованих сіткою Хателіт-С, порівнюючи із зразками, армованими базальтовою сіткою в середньому в 1,4 рази [31].

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти збільшення міцності $K_{\text{мц}}$ та довговічності $K_{\text{довг}}$ асфальтобетону від виду сітки при $T=0^{\circ}\text{C}$ [31].

Рівень швидкості навантаження, V_{σ}	Коефіцієнт $K_{\text{мц}}$ при використанні сіток	
	базальтової	Хателіт-С
великі V_{σ}	1,0-1,2	1,4-1,6
малі V_{σ}	1,2-1,4	1,7-1,9
Значення розтягуючих напружень, МПа	Коефіцієнт $K_{\text{довг}}$ при використанні сіток	
	базальтової	Хателіт-С
10,0	1,5	20,69
5,0	5,91	49,16
2,5	23,63	111,36
1,0	147,67	328,52

Порівняння результатів, отриманих при аналізі функції довговічності за методикою кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ, свідчать, що армування сітками суттєво впливає на коефіцієнт збільшення довговічності асфальтобетону. При цьому зразки асфальтобетону, армовані сіткою Хателіт-С також більш вигідно відрізняються від зразків, армованих базальтовою сіткою (таблиця 1.1).

1.2 Умови роботи шарів підсилення дорожнього одягу

Як було зазначено вище, при конструюванні шарів підсилення дорожнього одягу намагаються максимально використовувати існуючий дорожній одяг в якості основи, що викликає значні проблеми у зв'язку з її неоднорідністю, викликаною наявністю різного роду руйнувань і деформацій. Вважається, що найбільш небезпечним фактором, який викликає руйнування

шарів підсилення є відображені тріщини. Дослідження питання тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах, влаштованих по існуючій конструкції дорожнього одягу бере початок в 30-х роках минулого століття. Згодом, багато досліджень були проведені, щоб вирішити цю проблему, і багато моделей були розроблені для аналізу або прогнозування відображення тріщин. Так, наприклад, в роботах [42, 43] використовуючи положення теорії руйнування твердих тіл, розглядаються особливості деформування асфальтобетонних шарів з врахуванням вертикальних перерізаючих напружень (рисунок 1.1). Із досліджень відомих вчених Г.К. Сюньї, К. Монісміта, L. Francken, E.Beuving, A.A.A.Molenaar Б.С. Радовського, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, І.П. Гамеляки, В.Я. Савенка, О.В. Марчука, В.К. Жданюка, І.В. Кіяшка, В.М Ряпухіна, А.Г. Батракової, М.М. Дмитрієва, В.І. Гуляєва, Д.О. Павлюка, В.А. Веренько та багатьох інших витікають наступні узагальнення.

Утворення відображених тріщин – процес розтріскування суцільних шарів влаштованих над тріщинами або швами, внаслідок дії транспортного навантаження та кліматичних факторів. Існуючі шви або тріщини можуть викликати відображення тріщин в двох формах:

1. Існуючі шви або тріщини забезпечують концентрацію напружень в нижній частині асфальтобетонного покриття, що призведе до подальшого зростання тріщин в ньому.

2. Якщо концентрацію напружень деякими засобами було нейтралізовано, вплив існуючих швів або тріщин проявиться у максимальній величині прогину покриття під колісним навантаженням. Відповідно, в цій точці виникатимуть максимальні напруження, що робить його найбільш вірогідним місцем для розтріскування і це створює непрямий вплив існуючої тріщини.

У відомих дослідженнях також відмічається, що концентрація напружень, грає домінуючу роль у відбитті тріщин, через деформації асфальтобетонних шарів в безпосередній близькості від швів або тріщин. Ці деформації можуть мати згинальний (горизонтальні розтягуючі напруження) чи перерізаючий

(вертикальні перерізаючі напруження) характер, внаслідок дії транспорту, а також добових і сезонних змін температури. Загалом, відображене розтріскування обумовлено комбінацією цих трьох факторів. Кожен прохід транспортного навантаження викличе в асфальтобетонних шарах дію горизонтальних нормальних розтягуючих напружень та вертикальних дотичних перерізаючих напружень, водночас коливання температури викликає діє горизонтальних температурних напружень (рис. 1.2). Крім того, на утворення тріщини та її поширення також впливають структура існуючої конструкції дорожнього одягу та її стан, заходи боротьби з відображеними тріщинами (наприклад, армування, тріщиноперериваючі прошарки із зернистих матеріалів і таке інше), властивості асфальтобетонної суміші, ступінь передачі навантаження на шви і тріщин, та інші.

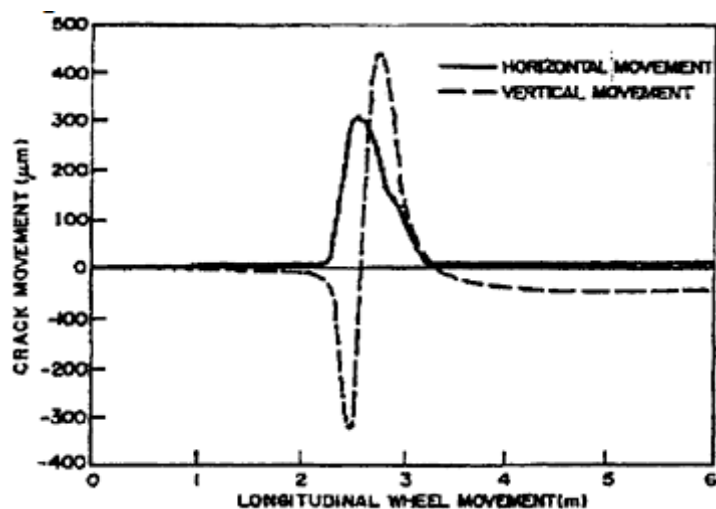
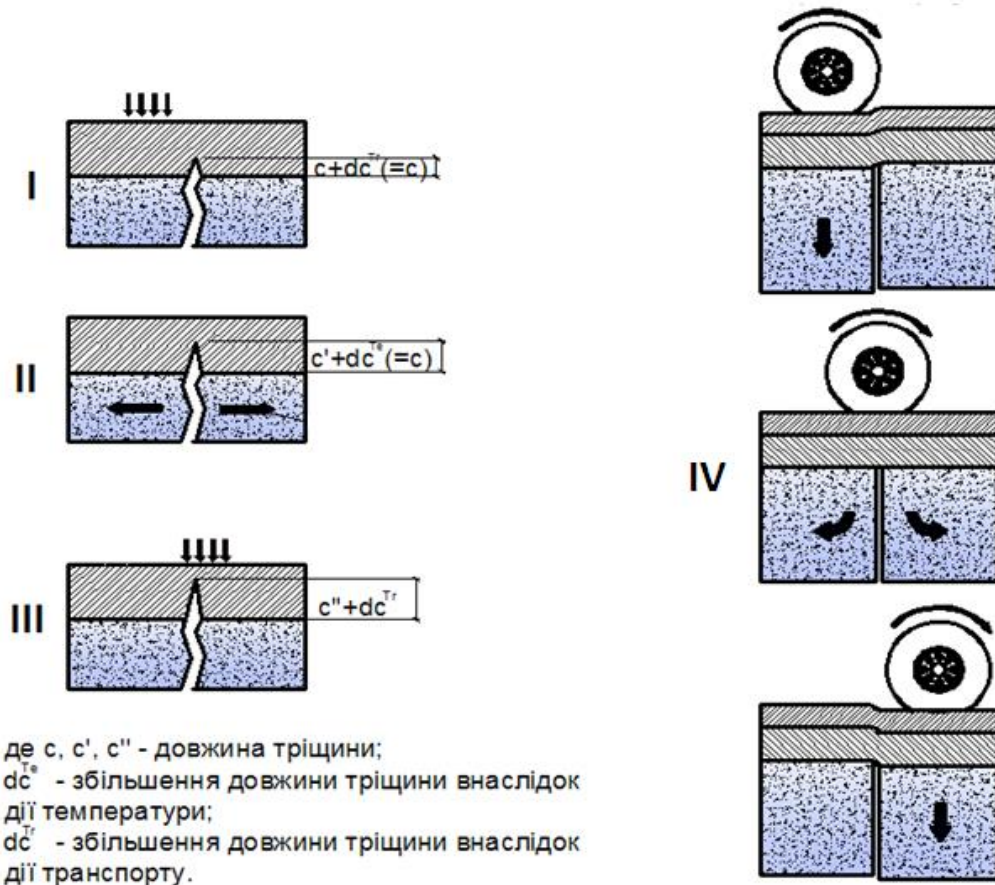


Рисунок 1.1 – Особливості деформування асфальтобетонних шарів над, тріщиною в основі

Останніми роками ряд досліджень було присв'ячено урахуванню умов роботи асфальтобетонних шарів при більш детальному розгляді параметрів режимів зміни температурних умов та транспортного навантаження з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. Так, у роботі [44]

автором було встановлено аналітичні залежності для визначення напруженого стану асфальтобетонних шарів та оцінки їх граничного стану за тріщиностійкістю з урахуванням часу дії навантаження, отримано закономірності про вплив часу дії навантаження та температури на термореологічну поведінку асфальтобетону.



I, III – згинальний характер деформації (горизонтальні розтягуючі напруження) внаслідок дії транспорту; II – дія горизонтальних розтягуючих напружень від змін температури; IV – сумісна дія деформацій згинального (горизонтальні розтягуючі напруження) та перерізаючого характеру (вертикальні перерізаючі напруження) внаслідок дії транспорту.

Рисунок 1.2 – Схема роботи асфальтобетонних шарів підсилення

У роботі [45] були отримані закономірності про вплив режиму і часу дії транспортного навантаження на характер тріщиноутворення і руйнування асфальтобетонного покриття в міських та позаміських умовах.

Як показали дослідження [44 – 46], дорожній одяг має тим більший об'єм руйнувань, чим більша тривалість дії навантаження. Це особливо характерно

для міських умов. Тут звертає на себе увагу існування 4 характерних зон з різними закономірностями поєднання тривалості дії навантаження: ділянка безперервного руху (ДБ); ділянка гальмування (ДГ); ділянка зупинки (ДЗ); ділянка розгону (ДР). При цьому, час дії навантаження для відповідних ділянок складає: 0,1 секунди для ДБ; 1-3 секунд для ДГ; до 90 с для ДЗ; 1-3 с для ДР. При цьому, відносна площа пошкодження покриття для відповідних ділянок, рівна: 0,12-0,22 (для ДБ); 0,33-0,42 (для ДГ); 0,57-0,78 (для ДЗ); 0,40-0,49 (для ДР). Такий характер комбінацій вантажень свідчить, що із збільшенням тривалості дії навантаження збільшується об'єм руйнувань.

Як зазначалось раніше, одним із ефективних способів підвищення довговічності асфальтобетонних шарів є застосування АСМ. У роботі [31] розроблено розрахункові схеми роботи армованих асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу, що дозволяють визначити температурні напруження в армованих асфальтобетонних шарах з урахуванням коливання температури протягом річного та добового циклів.

Слід відмітити, що більшість проведених досліджень, що враховують термореологічні параметри асфальтобетону [20, 31, 42], не зважаючи на те, що дають можливість для кожного конкретного об'єкта індивідуально виконувати такі розрахунки для різних розрахункових схем, однак дію дотичних вертикальних перерізаючих напружень не враховують.

Таким чином, аналізуючи умови роботи шарів підсилення дорожнього одягу було з'ясовано, що основними причинами руйнування асфальтобетонних шарів у вигляді тріщин є: вплив транспортних навантажень, коливання температури, тріщини і шви в розташованих нижче шарах, відмінність теплофізичних властивостей матеріалів суміжних шарів із монолітних матеріалів, недостатня жорсткість основи. Залежно від природи утворення тріщин їх поділяють на: відбиті, температурні, силові, технологічні, втомні.

1.3 Існуючі підходи до розрахунку міцності і довговічності шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу

Для дорожнього одягу, як і для інших будівельних конструкцій, науковою основою методів розрахунку є механіка твердого тіла, що деформується, зокрема, такі її розділи, як теорія пружності, теорія в'язкопружності, теорія пластичності. Одним із найбільш повних узагальнень методологічних підходів до розрахунку нежорсткого дорожнього одягу було в останні роки зроблено у своїх аналітичних дослідженнях Б.С. Радовським [17, 24, 32, 33]. З нього слідує, що перше відоме згадування по методиці розрахунку товщини дорожнього одягу було зроблено Єгором Головачовим у 1870 р.. При цьому було розглянуто передачу в шарі щебеню вертикального зусилля від зерна до зерна і припустив, що тиск від колеса поширюється через щебеновий шар під кутом природного укусу. Тоді, розділивши навантаження на площу прямокутника (умовний відбиток колеса, відповідних розмірів), можна знайти тиск на піщану основу під щебенем і, порівнявши його з допустимими значеннями для піску, визначити необхідну товщину щебенового шару. Таким же шляхом далі можна знайти і товщину піщаного шару, виходячи з допустимого тиску на ґрунт земляного полотна. В подальшому із розвитком методів розрахунку було прийнято розглядати дорожній одяг як пружний напівпростір. Основною задачею для пружного півпростору була дія зосередженого навантаження, перпендикулярного до його граничної площини. Розв'язавши цю задачу в 1885 р., французький математик Ж. Буссінеск знайшов особливо важливі для теорії і практики розрахунку дорожніх одягів рішення:

1. Рішення про дію зосередженої нормального навантаження на однорідний напівпростір
2. Рішення про дію тиску рівномірно розподіленого по круговій площі на однорідний напівпростір
3. Рішення про дію жорсткого штампа на однорідний напівпростір.

З того часу було запропоновано близько сотні різних методів розрахунку [33]. Більшість запропонованих методів розрахунку дорожніх одягів складаються з таких етапів:

1. Намічають конструкцію дорожнього одягу – товщини шарів і їх розрахункові характеристики, а також характеристики ґрунту.

2. Розраховують показники напружено-деформованого стану наміченої конструкції від дії транспортного навантаження і порівнюють з їх критичним або допустимим значенням. Після цього вирішують, застосувати більш потужну конструкцію або, навпаки, слід зменшити прийняті спочатку товщини.

3. Повторюють етапи 1 - 2 для інших типів конструкцій і вибирають з розрахованих варіантів економічно доцільну.

На другому етапі може використовуватися чисто гіпотетична схема, наприклад, розподіл тиску під постійним кутом. Такі методи можна віднести до умовних розрахункових схем, які утворюють першу групу методів розрахунку. Найчастіше на другому етапі для визначення показників напружено-деформованого стану використовували розрахункові схеми і рішення механіки твердого деформівного тіла, причому матеріали шарів і ґрунт характеризували модулями пружності, модулями деформації або коефіцієнтом постелі (коефіцієнтом пропорційності між напругою і переміщенням). Такі методи можна віднести до механіко-емпіричних, оскільки характеристики матеріалів в них зазвичай містять «підганяльні» емпіричні коефіцієнти, щоб пристосувати абстрактну механічну модель матеріалу до його реальним властивостям. Вони утворюють другу групу методів розрахунку. Третя група методів не передбачає другого етапу. Необхідна товщина кожного шару може призначатися в залежності від деякого показника міцності матеріалу розташованого під ним шару або ґрунту на основі наявного досвіду або даних прискорених випробувань дорожніх одягів. Цю групу віднесено до емпіричних. Однак, як відмічає Б.С. Радовский, розрахунки, які базуються на таких методах є дещо спрощеними, оскільки більшість будівельних матеріалів проявляють термо-в'язко-пружну поведінку. Також вони мають деякі недоліки:

- результати відповідають лише природним умовам і ґрунту випробовувального полігону;
- неможливий прогноз для інших навантажень і умов (інші колісні схеми, глибина промерзання, опади та ін.);
- невідомо, як поводить ся конструкція після підсилення.

Тому на практиці найбільш поширені методи розрахунку дорожніх одягів базуються на підходах другої групи, що використовує найбільш науково-обґрунтовані фундаментальні теоретичні положення при визначенні напружено-деформованого та граничного стану елементів шаруватих конструкцій при моделюванні роботи дорожнього одягу. З метою можливості отримання розрахункового апарату для вирішення інженерних задач, головним чином, використовується апарат лінійної теорії пружності. Щоб краще врахувати термо-реологічні властивості в роботах вчених, зокрема, О.Т. Батракова, О.К. Бірулі, М.В. Горелишева, Л.М. Гохмана, В.О. Золотарьова, М.М. Іванова, Я.А. Калужського, М.Б. Корсунського Б.І. Ладигіна, Ю.Є. Нікольського, Б.С. Радовського, А.В. Руденського, А.О. Салля, В.М. Сіденка та багатьох інших дослідників відзначена необхідність врахування залежності розрахункових характеристик (модуля пружності, міцності на розтяг) асфальтобетону від температури та часу дії навантаження. Саме такі особливості поведінки матеріалів були враховані при розробці вітчизняних нормативних документів з розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу: ВСН 46-83 та ВБН В.2.3-218-186, на основі яких розраховували дорожній одяг з 1983 по 2019 роки, та нині діючий норматив - ГБН В.2.3-37641918-559, суть методики розрахунку за яким не змінилась, а лише внесені певні формальні зміни. Суть даної методики полягає у розрахунку дорожнього одягу на повторну дію вертикального розрахункового навантаження від рухомого транспортного засобу з сумарною кількістю прикладань за весь нормативний термін служби до капітального ремонту.

На даний момент часу ГБН В.2.3-37641918-559 проходить апробацію, тому нижче наводяться особливості розрахунку згідно вимог ВБН В.2.3-218-186. Критеріями граничного стану дорожніх одягів є: пружний прогин конструкції; опір зсуву у шарах із мало зв'язних матеріалів та в ґрунті земляного полотна; опір розтягу при згині шарів із монолітних матеріалів.

За допустимим пружним прогином виконують попереднє конструювання дорожнього одягу, який потім розраховують за двома іншими критеріями граничного стану.

Методично доцільно дотримуватися наступної послідовності розрахунку:

– виконати розрахунок дорожнього одягу за допустимим пружним прогином. Розрахунок виконують на основі залежності необхідного загального модуля конструкції від розрахункової інтенсивності руху. У результаті цього розрахунку визначаються товщини конструктивних шарів таким чином, щоб загальний модуль пружності дорожнього одягу був не меншим за необхідний, з урахуванням відповідного коефіцієнта надійності.

– виконати розрахунок отриманої конструкції дорожнього одягу за двома незалежними критеріями міцності: опором зсуву в ґрунті і шарах з мало зв’язних матеріалів і міцності шарів з монолітних матеріалів при згині.

Конструкція дорожнього одягу вважається міцною, якщо коефіцієнт міцності $K_{ми}$ за кожним із критеріїв більший чи дорівнює мінімально допустимому $[K_{ми}]$, знайденому з урахуванням необхідного рівня надійності. **Якщо хоча б один із критеріїв є меншим від мінімально допустимого значення, тобто $K_{ми} < [K_{ми}]$ то така конструкція не є достатньо міцною і не може бути застосована.**

Розрахунок дорожнього одягу нежорсткого типу, згідно вимог ВБН В.2.3–218–186, виконується у наступній послідовності:

1. Збір вихідних даних.
2. Визначення потрібного модуля пружності конструкції дорожнього одягу.
3. Визначення розрахункових характеристик матеріалів конструкції.
4. Розрахунок конструкції дорожнього одягу за трьома критеріями граничного стану:

4.1 Конструкція дорожнього одягу задовольняє вимогам надійності та міцності за критерієм пружного прогину, якщо

$$K_{ми} \leq E_{заг} / E_{нотр}, \quad (1.1)$$

де $K_{ми}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу, знайдений за графіком (рисунок 3.1) чи таблицею 3.1 ВБН В.2.3-218-186 у залежності від допустимого рівня надійності, або за методикою додатка И

ВБН В.2.3-218-186;

$E_{заг}$ – загальний модуль пружності конструкції;

$E_{потр}$ – потрібний модуль пружності конструкції з урахуванням капітальності одягу, типу покриття й інтенсивності дії навантаження.

4.2 Конструкція дорожнього одягу задовольняє вимогам надійності та міцності за критерієм стійкості проти зсуву в ґрунті

$$\frac{T_{zp}}{T} \geq K_{міц}; \quad (1.2)$$

4.3 Конструкція дорожнього одягу задовольняє вимогам надійності та міцності за критерієм розтягу при згині.

Розрахунок виконують у наступній послідовності:

а) конструкцію приводять до двошарової моделі, де нижній шар – частина конструкції, розташована нижче за пакет асфальтобетонних шарів. Модуль пружності нижнього шару визначають із попередніх розрахунків як модуль пружності еквівалентного за жорсткістю однорідного півпростору.

Весь пакет шарів з асфальтобетону приймають за один еквівалентний верхній шар. У цьому випадку модуль пружності еквівалентного верхнього шару товщиною, що дорівнює загальній товщині пакета асфальтобетонних шарів, визначають за формулою (3.11 ВБН В.2.3-218-186), а модулі асфальтобетонних шарів визначають за таблицею Е.1:

б) за співвідношеннями $\frac{h_e}{D}$ та $\frac{E_e}{E_n}$ та номограмою (рис. 3.6 ВБН В.2.3-218-186) визначають: $\bar{\sigma}_r$.

Розрахункове напруження на розтяг визначають за формулою

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p K_{\sigma}, \quad (1.3)$$

де p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

K_δ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами, $K_\delta = 0,85$.

в) допустиме напруження при згині асфальтобетону за формулою

$$R_p = R_{\text{лаб}} k_m k_{\text{кп}} k_T, \quad (1.4)$$

де $R_{\text{лаб}}$ – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині при одноразовому прикладанні навантаження (таблиця Е.1 ВБН В.2.3-218-186);

k_m – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов, (табл. 3.10 ВБН В.2.3-218-186);

k_T – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадочних впливів (табл. 3.10 ВБН В.2.3-218-186);

$k_{\text{кп}}$ – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторюваність навантажень на дорозі

$$k_{\text{кп}} = k_{np} \cdot \sum N^{-\left(\frac{1}{m}\right)}, \quad (1.5)$$

де k_{np} – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у не розрахунковий період (таблиця Е.1 ВБН В.2.3-218-186);

m – показник втоми (таблиця Е.1 ВБН В.2.3-218-186);

$\sum N$ – сумарна кількість проходів розрахункових транспортних засобів.

Крім того ВБН В.2.3-218-186 передбачає (згідно п. 3.8) розрахунок асфальтобетонних шарів, армованих синтетичними матеріалами та методику визначення розрахункових характеристик для армованого асфальтобетону (Додаток К).

Аналізуючи наведену вище особливість чинної нормативної методики розрахунку асфальтобетонних шарів підсилення можна відмітити наступне.

Методика розрахунку не враховує наявності порушення суцільності існуючого дорожнього одягу у вигляді тріщин. Характеристики асфальтобетонних шарів розглядаються у вигляді усередненої величини по товщині квазіоднорідного пакету. Не враховується вплив на міцність різного часу дії навантаження, не враховується вплив температурних напружень при

коливанні температури, не враховується дія вертикальних дотичних напружень. Розрахунково-аналітична методика визначення розрахункових характеристик армованого асфальтобетону дає орієнтовні результати без урахування впливу параметрів технології виконання робіт при застосуванні армуючих матеріалів.

Заслуговує на увагу чинний нормативний документ ГБН В.2.3-37641918-544, що регламентує застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях [39], який містить розрахунок покриття дорожнього одягу з застосуванням геосинтетичних матеріалів (п. 12.3). Ця методика базується на методології, розробленої А.А.А. Molenaar і його колегами [35, 36, 38], що використовуює положення теорії руйнування твердих тіл та враховує наявність тріщин в основі і дію дотичних вертикальних зусиль.

За ГБН В.2.3-37641918-544 визначають швидкість розповсюдження тріщини в конструкції з армованого і неармованого асфальтобетонного покриття за формулою (1.6)

$$\frac{dc}{dN} = A \times \Delta K^n, \quad (1.6)$$

де $\frac{dc}{dN}$ - швидкість зростання тріщини довжиною c за один цикл навантаження N (див табл. 12.4 ГБН В.2.3-37641918-544);

ΔK - значення коефіцієнта інтенсивності напруження (визначають згідно з формулами 12.10, 12.11 ГБН В.2.3-37641918-544);

A, n - константи асфальтобетону (для неармованої конструкції $A_{\text{неарм.}}, n_{\text{неарм.}}$, для армованої - $A_{\text{арм.}}, n_{\text{арм.}}$).

Значення коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK_b для розтягу при згині

$$\Delta K_b \times p \times \exp\left(-\frac{\beta}{2}\right) \times \frac{\sin\left(\beta \times \frac{d}{2}\right)}{\beta^2 \times h^{\frac{2}{3}}}, \quad (1.7)$$

де K_b - безрозмірний коефіцієнт інтенсивності напружень, визначають за таблицею 1.8;

p - питомий тиск від колеса, МПа (згідно з таблицею Ж.1 додатку Ж ГБН В.2.3-37641918-544);

$\exp(x) = e^x$, де $e = 2,71828$ (основа натурального логарифму);

β - коефіцієнт приведення (за формулою 1.9);

D - діаметр відбитку колеса, м (згідно з таблицею Ж.1 додатку Ж ГБН В.2.3-37641918-544);

h - товщина покриття, м.

Значення коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK_s для перерізаючого зусилля

$$\Delta K_s = k_s \times p \times \frac{\left(1 + \exp\left(-\frac{\beta}{2}\right) \times \sin(\beta \times D)\right)}{4 \times \beta \times \sqrt{h}}, \quad (1.8)$$

де

$$\beta = \frac{1}{0.55 \times h} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_s}{E}}, \quad (1.9)$$

де k_s - безрозмірний коефіцієнт інтенсивності напружень, визначають за таблицею 1.4 ГБН В.2.3-37641918-544;

E_s - загальний модуль пружності на поверхні основи, МПа (визначений в результаті штампових випробувань);

E - ефективний модуль пружності пакету шарів дорожнього одягу, МПа.

Останніми роками у зв'язку з розвитком компютерної техніки та появою сучасних компютерних програм, що використовують методи скінченних елементів для розрахунку будівельних конструкцій, з'явилась можливість використовувати їх для розрахунку дорожнього одягу, що мають розриви суцільності в конструктивних шарах [35-40, 59].

1.4 Висновки по розділу

Проведений аналіз літературних даних свідчить, що існуючий нормативний метод проектування нежорсткого дорожнього одягу передбачає розрахунок асфальтобетонних шарів на тріщиностійкість лише на втому від багаторазового прикладання розрахункового рухомого транспортного навантаження у розрахунковий весняний період, використовуючи розрахунковий апарат лінійної теорії пружності. Водночас у багатьох дослідженнях було показано, що напружено-деформований і граничний стани конструкції дорожнього одягу значною мірою залежать від термореологічних властивостей матеріалів дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, які відображають вплив часу дії навантаження за різних температур на міцність конструкції в цілому. На основі результатів відомих досліджень створено аналітично-розрахунковий апарат, що дозволяє виконувати розрахунки напружено-деформованого стану шарів дорожнього одягу від дії транспорту. У ряді робіт аналізується термонапружений стан асфальтобетонних шарів при коливанні температури з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. Однак, виконані дослідження носять розрізнений характер, що до цього часу не дозволило на єдиній методологічній основі розробити комплексний метод розрахунку на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням термореологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів при сумісній дії температурних (викликаних коливанням температури) і горизонтальних нормальних та вертикальних дотичних (викликаних транспортним навантаженням) напружень на тріщиноутворення в шарах підсилення.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ

2.1 Розрахункові схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення і їх термо-напружено-деформований стан

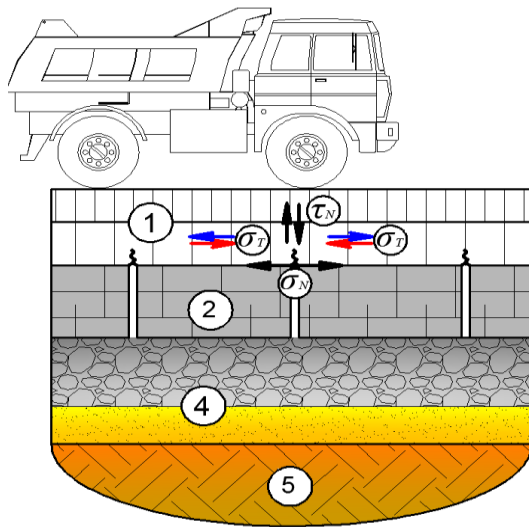
У дисертаційних дослідженнях прийнята робоча гіпотеза: довговічність асфальтобетонних шарів підсилення, головним чином, обумовлюється їх стійкістю до тріщиноутворення від спільної дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають у процесі згину при транспортному навантаженні та при зниженні температури, а також від дії вертикальних дотичних напружень, спричинених квазіклавішним ефектом у створі тріщин і швів монолітних шарів існуючого дорожнього одягу та (або) тріщин в окремих асфальтобетонних шарах підсилення, що утворюються у процесі служби.

Ураховуючи, що умови роботи асфальтобетонних шарів підсилення суттєво залежать від виду та стану розташованих під ними шарів існуючої конструкції дорожнього одягу запропоновано виділити два типи основ з наявністю монолітних шарів з тріщинами та без них (розтріскана та суцільна).

До першого типу віднесено тріщинувато-блочні основи, які внаслідок свого горизонтального температурного деформування при коливаннях температури та квазіклавішного ефекту і підвищеного прогину над тріщинами при проїзді пневматиків можуть викликати в асфальтобетонних шарах підсилення у зоні швів і тріщин основи концентрацію відповідних напружень, що призводять до розриву зв'язків в асфальтобетоні (основи із асфальтобетону з тріщинами, шари із матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими, що мають макротріщини) представлена на рисунку 2.1.

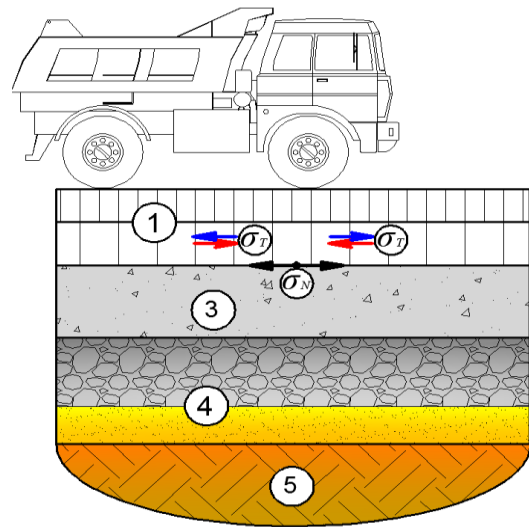
До другого типу віднесено квазісуцільні основи, які не викликають в асфальтобетонних шарах підсилення локальних концентрацій напружено-деформованого стану при дії транспортних навантажень та коливанні температури (основи з білого щебеню, піщано-щебеневої або піщано-гравійної

суміші та інших матеріалів, що не укріплені неорганічними в'язучими) представлена на рис. 2.2.



1 – шари підсилення; 2 – верхні шари основи з макротріщинами; 3 – верхні шари основи із незв'язних матеріалів, неукріплених неорганічними в'язучими; 4 – нижні шари основи; 5 – ґрунт земляного полотна; σ_T – температурні напруження; σ_N – горизонтальні нормальні напруження; τ_N – вертикальні дотичні напруження

Рисунок 2.1 – Розрахункова схема асфальтобетонних шарів підсилення на тріщинувато-блочній основі



1 – шари підсилення; 2 – верхні шари основи з макротріщинами; 3 – верхні шари основи із незв'язних матеріалів, неукріплених неорганічними в'язучими; 4 – нижні шари основи; 5 – ґрунт земляного полотна; σ_T – температурні напруження; σ_N – горизонтальні нормальні напруження

Рисунок 2.2 – Розрахункові схеми асфальтобетонних шарів підсилення на квазісуцільній основі

Перша розрахункова схема (рис. 2.2) являє собою необмежену по довжині двохшарову плиту, що опирається на напівпростір, причому, верхній шар плити є суцільним по всій довжині, а нижній (тріщинувато-блочна основа) має розриви суцільності (шви або тріщини). В даному випадку напруження що виникають у покритті аналогічно першій розрахунковій схемі, будуть доповнюватись напруженнями, які обумовлені вертикальними переміщеннями блоків та температурними деформаціями плит тріщинувато-блочної основи.

При вертикальному переміщенні блоків основи будуть виникати вертикальні перерізаючі напруження які викликать зріз покриття. При зниженні температури скорочення блоків основи викликать стиск частини покриття, розташованого безпосередньо над блоком і розтягнення – над прорізами між блоками основи.

Друга розрахункова схема (рис. 2.1) являє собою необмежену по довжині одношарову плиту, що опирається на основу. В даному випадку у покритті будуть виникати напруження від дії транспорту та температурні напруження від неможливості його вільного деформування при зміні температури.

При вивченні термо-напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення застосовуючи феноменологічний підхід та опираючись на відомі результати досліджень [17, 28] було прийнято, що їх матеріали проявляють властивості квазіоднорідних лінійних термо-реологічно-простих тіл. З метою дослідження кінетики проростання тріщини в шарах підсилення по вертикальній координаті z кожен i -тий шар поділявся на j -ті прошарки з характерним термо-напружено-деформованим станом.

Для визначення температурного режиму у j -тому прошарку було удосконалено аналітичні залежності, отримані в НТУ на базі рішення теплопровідності Фур'є, для полігармонійної закономірності зміни температури. Температура будь-якого прошарку $T(t,z)$ вважається відомою функцією часу t і глибини z від його зовнішньої поверхні і характеризується середньо інтегральним за товщиною h значенням

$$T(t) = \frac{1}{h} \int_0^h T(t,z) dz. \quad (2.1)$$

Для температурного режиму в j -му прошарку i -го шару конструкції дорожнього одягу при косинусоїдальному законі зміни температури на поверхні покриття з амплітудою A_n та круговою частотою ω_n отримана аналітична залежність:

$$T_{i,j}(z=h_{i,j},t)=\frac{1}{h_{i,j}}\left[T_0+\sum_{n=1}^k A_n e^{-\sum_{j=1}^{i-1} h_{i,j-1} \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i,j-1}}}} \int_{h_{i-1,j-1}}^{h_{i,j}} e^{-Z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i,j}}}} \cdot \cos\left(Z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i,j}}} - \omega_n \cdot t\right) dz\right], (2.2)$$

де $h_{i,j}$ – товщина j -го підшару i -го асфальтобетонного шару;

$a_{i,j}$ – коефіцієнт температуропровідності матеріалу шару.

Аналогічно, після відповідних перетворень, вираз для температурного режиму шару тріщиновато-блочної основи має вигляд:

$$T^{очн}(z=h_{очн},t)=\frac{1}{h_{очн}}\left[T_0+\sum_{n=1}^k A_n \cdot e^{-\sum_{i=1}^{h_{очн}} \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i+1}}}} \int_{h_{i+1}}^{h_{очн}} e^{-Z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{очн}}}} \cdot \cos\left(Z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{очн}}} - \omega_n \cdot t\right) dz\right], (2.3)$$

Середня температура поверхні покриття визначається за виразом:

$$T_0 = \frac{T_{0\max} + T_{0\min}}{2}, (2.4)$$

де $T_{0\max}$, $T_{0\min}$ – відповідно середньомісячна температура поверхні покриття в найбільш теплому і найбільш холодному місяці, які визначаються за відомими емпіричними залежностями [38]:

$$T_{0\max} = (T_{\max}^{нов} - a_2 \varphi^2 + a_3 \varphi + a_4)(a_5) - a_6, (2.5)$$

$$T_{0\min} = -b_1 + b_2 T_{\min}^{нов} - b_3 \varphi^2 + b_4 - b_5 (b_6 + b_7 \sigma_{нов})^{\frac{1}{2}}, (2.6)$$

де $T_{\min}^{нов}$ – середня низька температура повітря за сім днів, °С;

$T_{\max}^{нов}$ – середня висока температура повітря за сім днів, °С;

де φ – географічна широта об'єкту будівництва в град.;

$a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – емпіричні коефіцієнти, що встановлюються на основі метеорологічних даних за останні роки;

$\sigma_{нов}$ – стандартне відхилення середньоарифметичного значення низької температури повітря.

Для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення при дії транспортного навантаження використовували відомі пружні рішення для шаруватого пружного напівпростору або скінченно-елементне моделювання [39, 40]. З метою урахування термо-в'язко-пружних властивостей асфальтобетону застосовували підходи квазі-пружної апроксимації.

З урахуванням термо-реологічних властивостей асфальтобетону на основі рішень лінійної теорії термо-в'язко-пружності з використанням функції релаксації у вигляді модифікованого степеневого закону Р. Шепері стосовно розрахункової схеми другого типу отримано рекурентне співвідношення для визначення температурних напружень j -тому прошарку i -того шару підсилення:

$$\sigma_{Ti}(t) = -\alpha_i H \sum_{i=1}^k \overline{A_{n,i,j}} \cos \omega_{n,i,j} t + \alpha_i (B - H) r^m \sum_{i=1}^k \overline{A_{n,i,j}} \omega_{n,i,j} t \cdot \int_0^t \frac{\sin(\omega_{n,i,j}) t d\tau}{\left[r + e^{(T_0 - Q)} (I_n(t) - I_n(\tau)) \right]^m}, \quad (2.7)$$

$$I(x) = \int_0^x e^{p \bar{A} \cos(2\pi/t_r) u} dU$$

де α_i – коефіцієнт лінійного розширення;

$\bar{A}_{n,i,j}$ – середньо інтегральна по товщині амплітуда коливань температури в j -тому прошарку i -того шару;

B, H, r, m – параметри функції релаксації.

Стосовно розрахункової схеми першого типу для визначення температурних напружень j -того прошарку i -того шару підсилення було використано відоме термо-пружне рішення у вигляді:

$$\sigma_T = E_1 \alpha_1 \Delta T_1 + \left[\left(1 + \frac{S_2 E_2}{S_1 E_1} \right)^{-1} \left(\alpha_2 \Delta T_2 E_2 \frac{S_2}{S_1} \right) \right], \quad (2.8)$$

У цих формулах: i – номер шару зверху ($i = 1$ покриття, $i = 2$ – блочна основа); S_i , E_i , α_i – відповідно площа поперечного перерізу, модуль пружності, коефіцієнт лінійного температурного деформування; ΔT_i – зміна усередненої по товщині температури покриття або основи в часі; $\Delta T_i = T_i(t) - T_i(t=0)$. $T_i(t=0)$ – середня по товщині початкова температура шару; $T_i(t)$ – середня по товщині поточна температура шару, що змінюється в часі t .

2.2 Встановлення умов граничного стану для оцінки довговічності асфальтобетонних шарів підсилення

2.2.1 Граничний стан асфальтобетонних шарів підсилення

Оскільки властивості асфальтобетону залежать як від температури, так і від часу дії навантаження [8, 41], виявляючи кінетичний характер руйнувань, то умова граничного стану j -того прошарку i -того асфальтобетонного шару підсилення була розроблена на основі використання кінетичної теорії міцності твердих тіл:

$$M = M_T + M_{BtB} + M_{BtT} + M_{Sh} \leq 1, \quad (2.9)$$

де M_T – міра вичерпування довговічності від коливання температури;

M_{BtB} – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень в нижній фібрі шару підсилення;

M_{BtT} – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень в верхній фібрі шару підсилення;

M_{Sh} – міра вичерпування довговічності від дії вертикальних дотичних напружень.

Міра вичерпування довговічності асфальтобетону певного прошарку від дії відповідного виду напруження визначається за функцією Бейлі як інтегральна сума міри пошкодженості:

$$M = \int_0^t \frac{dt}{t_p^*[\theta(T, t)]} = 1, \quad (2.10)$$

де t – час експлуатації покриття;

$t_p^*[\theta(T, t)]$ – функція довговічності шару підсилення;

$\theta(T, t)$ – горизонтальні нормальні або вертикальні дотичні напруження, що виникають від дії температури або транспортних навантажень.

2.2.2 Вплив часу дії навантаження

Для автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям є характерним наявність ділянок з певними умовами руху, що створюють навантаження дорожнього одягу з різним часом дії навантаження [29, 42]. Серед характерних режимів руху можна виділити перегони, на яких відсутній ризик заторів, перегони автомобільних доріг, де затори епізодично можуть утворюватися, зупинки громадського транспорту, підходи до перетину автомобільних доріг в одному рівні, залізничні переїзди та інші. Такі реальні режими руху створюють режими багаторазового навантаження які відрізняються від розрахункової тривалості дії навантаження 0,1 с в більшу сторону, при цьому відбувається циклічне навантаження як короткочасними навантаженнями більшої тривалості, так і багаторазовими статичними навантаження. При цьому можуть розвиватися втомні руйнування асфальтобетонного покриття, від дії комбінацій циклічних короткочасних і статичних навантажень.

Для визначення ступеня пошкодження структури асфальтобетону i -го шару від впливу транспортного навантаження, скористаємося підходом, запропонованим в роботі [30] – визначимо кількість проїздів розрахункових автомобілів до руйнування.

У загальному випадку критерій граничного стану можна записати у вигляді умови (2.11)

$$M(\sigma(t_n)) = \frac{n}{\sum N_p(t_n)} \leq 1, \quad (2.11)$$

де n – число циклів навантаження асфальтобетону при рівні розтягуючого напруження $\sigma(t_n)$;

$\sum N_p(t_n)$ – гранична кількість циклів до руйнування асфальтобетону при цьому ж рівні навантаження.

Виходячи зі статичного закону втомного руйнування асфальтобетону втомну міцність з урахуванням (2.11) можна записати у вигляді (2.12).

$$R_N(t_n) = R_0(t_n) \cdot \frac{1}{\sqrt[m]{\sum N_p(t_n)}}, \quad (2.12)$$

де $R_0(t_n)$ – одноразова міцність при відповідній тривалості дії навантаження (t_n) ;

m – показник втоми асфальтобетону, який визначається експериментально.

Вираз (2.12) збігається з виразом 3.17 (з урахуванням 3.18) ВБН В.2.3-218-186 з точністю до коефіцієнтів, що враховують зниження міцності в часі від впливу погодно-кліматичних факторів і відмінність в реальному і лабораторному режимах розтягування повторним навантаженням, а також ймовірність збігу в часі розрахункової (низької) температури покриття і розрахункового стану ґрунту робочого шару по вологості [28].

При встановленні $\sum N_p(t_n)$ використовуємо функцію тривалої міцності $t_p^*(\sigma, T)$ у вигляді статичної залежності Бартенєва (2.13) [43 – 44].

$$t_p^*(\sigma, T) = B_\tau(T) \sigma^{-b_\tau(T)}, \quad (2.13)$$

прийнято, що $t_p^*(\sigma, T) = \sum N_p(t_n) \cdot t_\sigma^H$ отримаємо

$$\sum N_p(t_n) = \frac{B_\tau(T)}{t_\sigma^n \cdot \sigma^{b_\tau(T)}}. \quad (2.14)$$

Скористаємося отриманими в роботі [28] виразами для визначення $b_\tau(T)$, $B_\tau(T)$ і отримаємо кінцеву залежність для визначення $\sum N_p(t_n)$.

$$\sum N_p(t_n) = \frac{10^{\left(a_\sigma + \theta_\sigma \frac{1}{T'} + r_\sigma e^{\frac{\rho_\sigma}{T'}}\right)}}{t_\sigma^n \cdot \sigma_\sigma^{\left(A_\sigma + B_\sigma \frac{1}{T'} + C_\sigma e^{\frac{D_\sigma}{T'}}\right)}}, \quad (2.15)$$

де σ_σ – розтягуючі напруження, що виникають при безперервному русі транспортних засобів; A_σ , B_σ , C_σ , D_σ , a_σ , θ_σ , r_σ , ρ_σ – постійні, знаходять за результатами випробувань на тривалу міцність при різних температурах і навантаженнях.

Згідно з літературними даними проведених досліджень [45-48] фактичні режими навантаження асфальтобетонного покриття свідчать про зменшення довговічності покриття зі збільшенням тривалості дії навантаження. Проведений аналіз свідчить, що в залежності від рівня (коефіцієнта) завантаження рухом дороги виникають ризики заторів і, в зв'язку з цим, збільшується середня тривалість дії навантаження, що перевищує значення 0,1 с. Крім того, на ділянках доріг з перетинами в одному рівні, підходами до перетину із залізничними коліями, зупинками теж є ймовірність збільшення тривалості дії навантаження, що перевищує значення 0,1 сек. У зв'язку з цим пропонується наступне. Дорожній одяг на перегонах проїжджої частини доріг розраховують на багаторазову короткочасну дію рухомих навантажень. При цьому необхідно враховувати ризик заторів при заниженій пропускній здатності автомобільної дороги. Час дії навантаження приймають згідно таблиці 2.1. Асфальтобетонне покриття на зупинках, перехрестях доріг в одному рівні і на підходах до перетину з залізничними коліями розраховують

на багаторазову дію рухомих навантажень з тривалістю їх дії відповідно до таблиці 2.1.

З таблиці 2.1 випливає, що режими навантаження на перегонах проїжджої частини, пересічних доріг в одному рівні, підходах до перетину з залізничними коліями і зупинках представлені комплексним багаторазовим впливом як короткочасних навантажень ($t_n = 0,1$ с або $t_n = 1,0$ с) так і статичних навантажень ($t_n = 10$ с або $t_n = 600$ с). Для такої комбінації бінарного навантаження також скористаємося фундаментальними положеннями кінетичної теорії міцності твердих тіл [28, 49-51] при розгляді питання довговічності асфальтобетонного покриття, аналогічно підходам, викладеним вище для мононавантаження.

Таблиця 2.1 – Розрахункові тривалість і кратність додатка навантаження при розрахунку одягу елементів автомобільної дороги

Елементи автомобільних доріг	Рівень завантаженості руху	Розрахункові тривалість і кратність додатка навантаження,с
Перегони проїзної частини	не більше 0,7	0,1 - багаторазово
	більше 0,7	1,0 - багаторазово
Перетину доріг в одному рівні	не більше 0,7	0,1 - багаторазово і 10 – багаторазово
	більше 0,7	1,0 - багаторазово і 10 – багаторазово
Підходи до перетину з залізничними коліями	не більше 0,7	0,1 - м багаторазово і 600 – багаторазово
	більше 0,7	1,0 - багаторазово і 600 – багаторазово
Зупинки	не більше 0,7	0,1 - багаторазово і 10 - багаторазово
	більше 0,7	1,0 - багаторазово і 10 - багаторазово

В цьому випадку використовуючи закон Майнера зміни відносної довговічності, вираженої через міру пошкоджуваності M від кожного циклу бінарного навантаження, може бути записано в наступному вигляді залежності:

$$M = M_1(\sigma_1(t_n = 0,1 \text{ с}) + M_2(\sigma_2(t_n > 0,1 \text{ с}) \leq 1, \quad (2.16)$$

$$\text{де} \quad M_1 = \frac{n(t_n=0,1 \text{ с})}{\sum N_{p1}(t_n=0,1 \text{ с})}; M_2 = \frac{n(t_n>0,1 \text{ с})}{\sum N_{p2}(t_n>0,1 \text{ с})} \quad (2.17)$$

При спільному впливі бінарного циклу на втомне руйнування асфальтобетонного покриття при відомих значеннях $\sum N_p$ одиниць напруження і долі δ_2 в сумарній кількості навантаження $\sum N_p$ від транспортних засобів, що створюють тривалість дії навантаження $t_n > 0,1 \text{ с}$ і визначених на підставі техніко-економічних досліджень будуть справедливі вирази (2.18):

$$N_1 + N_2 = \Sigma N; \quad N_1 = (1 - \delta_2) \cdot \Sigma N; \quad \delta_2 = \frac{N_2}{\Sigma N}. \quad (2.18)$$

Таким чином, вище наведені викладки свідчать що, для режимів навантажень згідно з таблицею 2.1, на підставі виразу (2.11) можна установити граничну кількість прикладання навантажень на асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу від моноциклових навантажень при $t_n \geq 0,1 \text{ с}$, а за допомогою виразу (2.16), з урахуванням (2.18) – для бінарного циклу навантаження при $t_{n1} \geq 0,1 \text{ с}$ і $t_{n2} \geq 10 \text{ с}$.

При аналізі впливу режиму навантаження на довговічність асфальтобетонного покриття, необхідно враховувати те, що зміна часу тривалості дії навантаження призводить до зміни діаметра відбитка колеса розрахункового автомобіля. В існуючій методиці ВБН В.2.3-218-186 (додаток 1) розглядається 2 варіанти: при короткочасному навантаженні з тривалістю дії 0,1 сек., приймається динамічне його значення D_d , а при статичному – статичне його значення D_{CT} [1]. Згідно з таблицею 2.1 прийняті для розгляду розрахункові тривалості дії навантаження 10 і 600 сек., слід віднести до режиму статичного навантаження і при розрахунку конструкції дорожнього одягу, необхідно приймати значення D_{CT} при розрахунку на тривалість навантаження 0,1 сек., приймається значення D_d , згідно ВБН В.2.3-218-186 (додаток 1). У

цьому випадку виникає необхідність визначити діаметра відбитка колеса розрахункового автомобіля для тривалості дії навантаження 1 с. З цією метою скористаємося наступними міркуваннями.

Збільшення тривалості дії навантаження з 0,1 до 1 сек., викликане зменшенням швидкості руху транспорту, що буде впливати на зменшення коливання їх підресореної маси і зменшення динамічного навантаження на колесо. З огляду на особливості передачі тиску від шини колеса транспортного засобу на асфальтобетонне покриття при зміні навантаження в ВБН В.2.3-218-186 прийнято, що питомий тиск під колесом на покритті є постійним, не залежних від навантаження на колесо Q , а площа відбитка колеса S при цьому буде змінюватись. У зв'язку з цим, якщо тиск від колеса на покриття залишається постійним, то він є рівномірно розподілений по колу і визначається за формулою

$$p = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \cdot \quad (2.19)$$

І цей тиск прямо пропорційно навантаженню на колесо і обернено пропорційно площі відбитка колеса S , або обернено пропорційно квадрату діаметра відбитка D . Беручи до уваги що при тривалості дії навантаження 0,1 с для розрахунку використовується динамічне значення діаметра відбитка колеса розрахункового автомобіля D_d , а при тривалості дії навантаження 10 с необхідно використовувати статичне значення $D_{ст}$, то неважко отримати значення D_d при тривалості дії навантаження 1 с беручи до уваги припущення про те що зміна площі відбитка колеса від логарифма тривалості дії навантаження буде лінійною. Використовуючи дані про D_d і $D_{ст}$ приведено в ВБН В.2.3-218-186 (додаток 1) встановлено, що динамічне значення діаметра відбитка колеса розрахункового автомобіля D_d визначається за формулою:

$$D_d = 1,06 \cdot D_{ст} \quad (2.20)$$

Таким чином, при розрахунку конструкцій дорожнього одягу на різний

час тривалості дії навантаження слід використовувати дані таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення розрахункових діаметрів відбитків розрахункових навантажень в залежності від тривалості навантаження

Група розрахункового навантаження	Нормативно статичне навантаження на вісь, кН	Діаметр відбитку колеса розрахункового автомобіля, см, при довготривалому навантаженні, с			
		D, см			
		0,1	1	10	600
A1	100	37	35	33	33
A2	110	39	36	34	34

2.2.3 Визначення коефіцієнта міцності асфальтобетонних шарів при розрахунку на міцність від втоми при $t_n > 0,1$ с

Для випадків бінарних режимів навантаження згідно з таблицею 2.1 визначення коефіцієнта міцності асфальтобетонних шарів може бути представлено в наступному вигляді.

При розрахунку дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності по критерію опору втомного руйнування від розтягування при вигині виникають горизонтальні напруження розтягу під дією повторних навантажень при рівні з тривалістю дії $t_n > 0,1$ с не повинні протягом заданого терміну служби призводити до утворення тріщин від втомного руйнування. Для цього має бути забезпечено умова (2.21):

$$\sigma_r^{0,1} < \frac{R_N^{t_n=0,1+t_n>0,1}}{K_{np}^{mp}}, \quad (2.21)$$

де K_{np}^{mp} – не обхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (таблиця 6.1 ГБН В.2.3-37641918-559);

$R_N^{t_n=0,1+t_n>0,1}$ – міцність матеріалу шару на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії $t_n = 0,1$ с і $t_n > 0,1$ с;

$\sigma_r^{0,1}$ – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 0,1 с.

Розрахункове розтягуюче напруження $\sigma_r^{0,1}$ визначається за формулою

$$\sigma_r^{0,1} = \bar{\sigma}_r^{0,1} \cdot p \cdot \kappa_\epsilon, \quad (2.22)$$

де $\bar{\sigma}_r^{0,1}$ – розтягуюче напруження при тривалості дії навантаження 0,1 с одиничного навантаження при розрахункових діаметрах відбитка колеса, що визначається за номограми (рисунок 6.6, 6.7 ГБН В.2.3-37641918-559);

κ_ϵ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\epsilon = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, який встановлюється згідно ГБН В.2.3-37641918-559.

З метою визначення розтягуючого напруження $\bar{\sigma}_r^{0,1}$ встановлюються модулі пружності при тривалості дії навантаження 0,1 с на основі результатів лабораторних випробувань або на основі табличних даних.

Міцність матеріалу шару $R_N^{t_H=0,1+t_H>0,1}$ на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії $t_H=0,1$ с і $t_H>0,1$ с визначається за формулою:

$$R_N^{t_H=0,1+t_H>0,1} = R_o^{0,1} k_1^{t_H=0,1+t_H>0,1} k_2 (1 - v_R \cdot t), \quad (2.23)$$

де $k_1^{t_H=0,1+t_H>0,1}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності внаслідок втомних явищ при багаторазовому додатку навантаження як при тривалості дії 0,1 с, так і 10 с;

k_2 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від впливу погодно-кліматичних факторів (ГБН В.2.3-37641918-559);

v_R – коефіцієнт варіації міцності на розтяг при згині;

t – коефіцієнт нормативного відхилення (таблиця 6.2 ГБН В.2.3-37641918-559).

Коефіцієнт $k_1^{t_H=0,1+t_H>0,1}$, що відображає вплив на міцність втомних процесів, обчислюють за виразом:

$$k_1^{t_H=0,1+t_H>0,1} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{t_H=0,1+t_H>0,1}}}, \quad (2.24)$$

де m – показник ступеня, що залежить від властивостей матеріалу монолітного шару показник втоми (встановлюють експериментально згідно з [52, 53]);

α – коефіцієнт, що враховує відмінність в реальному і лабораторному режимах розтягування повторним навантаженням, а також ймовірність збігу в часі розрахункової (низької) температури покриття і розрахункового стану ґрунту робочого шару по вологості;

$\sum N_p^{t_H=0,1+t_H>0,1}$ – розрахункове еквівалентне сумарне число додатків розрахункового навантаження як з тривалістю дії $t_H=0,1$ с і $t_H>0,1$ с за термін служби асфальтобетонного покриття, визначають за формулою:

$$\sum N_p^{t_{\text{н}}=0,1+t_{\text{н}}>0,1} = \delta_{t_{\text{н}}>0,1} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{t_{\text{н}}=0,1+t_{\text{н}}>0,1} + (1 - \delta_{t_{\text{н}}>0,1}) \cdot \sum N_p, \quad (2.25)$$

де $\sum N_p$ – розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження за термін служби монолітного покриття, яке визначається відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559;

$\delta_{t_{\text{н}}>0,1}$ – частка від загальної кількості автомобілів в потоці, затриманих на зупинках або у пересічній доріг в одному рівні (визначається на основі техніко-економічних досліджень при визначенні інтенсивності і складу руху);

$\beta_{t_{\text{н}}=0,1+t_{\text{н}}>0,1}$ – коефіцієнт, що відображає вплив на втомне руйнування

розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії $t_n=0,1\text{с}$ і $t_n>0,1\text{с}$, визначається за формулою:

$$\beta_{t_n=0,1+t_n>0,1} = \left(\frac{R_0^{t_n=0,1} \cdot \sigma_r^{t_n>0,1}}{R_0^{t_n>0,1} \cdot \sigma_r^{t_n=0,1}} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (2.26)$$

де $R_0^{t_n>0,1}$ – нормативне значення граничного опору розтягуванню (міцність) при вигині при розрахунковій низькій весняній температурі і одноразовому прикладанню навантаження з тривалістю $t_n>0,1\text{ с}$;

$R_0^{t_n=0,1}$ – теж саме з тривалістю $0,1\text{ с}$;

$\sigma_r^{t_n>0,1}$ – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження $t_n>0,1\text{ с}$.

Розрахункове розтягуюче напруження $\sigma_r^{t_n>0,1}$ визначається за формулою:

$$\sigma_r^{t_n>0,1} = \bar{\sigma}_r^{t_n>0,1} \cdot p \cdot \kappa_\theta, \quad (2.27)$$

де $\bar{\sigma}_r^{t_n>0,1}$ – розтягуючі напруження при тривалості дії навантаження $t_n>0,1\text{ с}$ при розрахункових діаметрах відбитка колеса (таблиця 2.2), визначаються за номограмою (рисунк 6.6, 6.7 ГБН В.2.3-37641918-559);

κ_θ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\theta = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, який встановлюється згідно ГБН В.2.3-37641918-559.

2.3 Термореологічні характеристики матеріалів

Теоретичні положення стосовно методів визначення розрахункових термореологічних характеристик матеріалів покриття полягають у використанні основ теорії термов'язкопружності та кінетичної теорії міцності твердих тіл при

встановленні закономірностей термомеханічної поведінки дорожньо-будівельних матеріалів в покритті шаруватого напівпростору під дією навантаження при впливі кліматичних факторів та характеристики, що обумовлюють ці закономірності. Як це показано в попередніх дослідженнях [46].

Основні термореологічні характеристики матеріалів покриття, це: функція релаксації, функція температурно-часового зміщення, а також функція тривалої міцності.

Термореологічні характеристики матеріалів характеризують їх в'язкопружну поведінку (повзучість, релаксацію) під впливом температури, часу дії навантаження та режиму навантаження.

На відміну від пружних, у термореологічних матеріалів, залежність між напруженням і деформацією асфальтобетону, як і інших в'язкопружних тіл, включає час. Найбільш загальною формою зв'язку між напруженням σ , деформацією ε і часом t для лінійно в'язкопружних тіл є співвідношення Больцмана-Вольтера [48, 52, 65, 68]:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau), \quad (2.28)$$

де t – момент часу, для якого визначається σ або ε ;

τ – попередній момент часу ($0 \leq \tau \leq t$).

Нехай при $V_\varepsilon = \text{const}$ будуть отримані результати випробувань зразків асфальтобетону у вигляді графіка $\sigma = f(t)$ (рисунок 2.2).

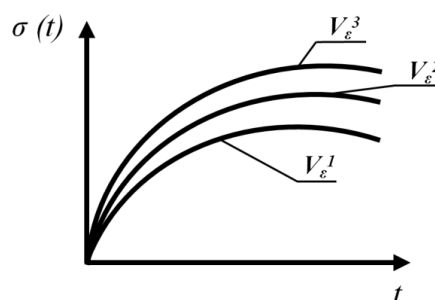


Рисунок 2.2 – Залежність зміни напруження в часі від швидкості деформування

Припустимо, що базові параметри функції релаксації (миттєвий модуль пружності (B) і довготривалий модуль пружності (H)) встановлюються на основі випробувань, відповідно, ультразвуком при низьких температурах і довготривалої повзучості при позитивних температурах.

За експериментальними даними можна отримати числові значення функції релаксації $R(t)$. Для розв'язання задач про термонапружений стан асфальтобетонного покриття цю функцію потрібно описати в математичному вигляді як функцію часу.

Досягти високої точності опису експериментально встановленої функції $R(t)$ дозволяє наведення її у вигляді суми експонент:

$$R(t) = H + \sum_{i=1}^n a_i \exp(-t/b_i), \quad (2.29)$$

де H , a_i , b_i – постійні.

Проте для достатньо точної апроксимації доводиться у виразі (2.29) використовувати суму з 10-15 членів, тобто застосовувати 21-31 постійну, що є доволі складно.

Більш простим і достатньо точним є модифікований степеневий закон, який успішно застосовують для опису функцій релаксації аморфних полімерів і композитів на їх основі:

$$R(t) = H + (B - H) \cdot (1 + t/r)^{-m}, \quad (2.30)$$

де m і r – постійні;

H і B – тривалий і миттєвий модулі пружності відповідно.

Як показують експерименти, вираз (2.30) дозволяє отримувати задовільну апроксимацію експериментальних кривих $R(t)$, хоча він містить тільки 4 параметри.

На основі залежності $\sigma(t)$ від $\varepsilon(t)$ при використанні співвідношення Больцмана-Вольтера:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t - \tau) d\varepsilon(\tau) \quad (2.31)$$

З врахуванням того, що $\varepsilon(t) = V_\varepsilon \times t$, а $V_\varepsilon = \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$, знаходимо $d\varepsilon(t)$

$$d\varepsilon(t) = V_\varepsilon \times dt \quad (2.32)$$

Тоді, застосувавши (2.30) і (2.32) можна переписати залежність (2.31):

$$\sigma(t) = \int_0^t H + (B - H) \times \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} \times V_\varepsilon \times d\tau \quad (2.33)$$

Виконаємо подальші математичні перетворення

$$\sigma(t) = V_\varepsilon \times \int_0^t H \times d\tau + V_\varepsilon \times (B - H) \times \int_0^t \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} d\tau \quad (2.34)$$

Розглянемо кожен з інтегралів

$$I_1 = \int_0^t H \times d\tau = H \times (t - 0) = H \times t \quad (2.35)$$

$$I_2 = \int_0^t \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} d\tau \quad (2.36)$$

Для (2.36) зробимо заміну змінних $1 - \frac{t-\tau}{r} = u$, тоді $\frac{du}{d\tau} = 0 - \frac{1}{r} \times (0 - 1)$, звідки

$$d\tau = r \times du \quad (2.37)$$

при $\tau = 0$ $u^H = 1 - \frac{t}{r}$, при $\tau = t$ $u^B = 1 - \frac{1}{r}$, тоді

$$I_2 = \int_{u^H}^{u^B} u^{-m} d\tau = r \times \int_{u^H}^{u^B} u^{-m} du \quad (2.38)$$

Проінтегрувавши (2.38) отримаємо

$$I_2 = r \times \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \quad (2.39)$$

Підставивши значення знайдених інтегралів у (2.34) отримаємо

$$\sigma(t) = V_\varepsilon H t + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \quad (2.40)$$

Таким чином, отримане рівняння з двома невідомими параметрами r і m .

Є можливість скористатись експериментальними даними при різних значеннях часу t_1 та t_2 , що дає можливість отримати два рівняння з двома невідомими:

$$\begin{aligned} \sigma(t_1) &= V_\varepsilon H t_1 + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_1}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \\ \sigma(t_2) &= V_\varepsilon H t_2 + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_2}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \end{aligned}$$

звідки

$$\begin{aligned} \sigma(t_1) - V_\varepsilon H t_1 &= V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_1}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \\ \sigma(t_2) - V_\varepsilon H t_2 &= V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_2}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \end{aligned}$$

Поділивши одне рівняння на інше, позначивши при цьому ліву частину рівняння $C(t_1; t_2)$, отримуємо вираз для визначення параметрів функції релаксації асфальтобетону на основі результатів випробувань зразків на розтяг або на розтяг при згині за постійної швидкості деформування:

$$C(t_1; t_2) = \frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_1}{r}\right)^{1-m}}{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_2}{r}\right)^{1-m}} \quad (2.41)$$

2.4 Висновки по розділу

На основі аналітичних залежностей, отриманих для оцінки граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення при тріщиноутворенні, з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при сумісній дії температурних напружень та горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням. Суть його новизни полягає у врахуванні дії вертикальних дотичних напружень на зменшення часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах. Цей метод дозволяє для різних варіантів конструкцій підсилення існуючого дорожнього одягу (з урахуванням історії будівництва і експлуатації та його стану) більш об'єктивно встановити час до утворення тріщин з урахуванням прогнозування кінетики розповсюдження тріщини в шарах підсилення по їх товщині.

Отримав подальший розвиток метод визначення термореологічних характеристик асфальтобетону на основі результатів випробувань при постійній швидкості деформування.

Удосконалено аналітичні залежності розрахунку асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу на дію транспорту з урахуванням більш реального спектру часу дії навантаження (ділянки перегонів з частими заторами, підходи до перетину з залізничними коліями та ін.), коли певна частка автомобілів може створювати триваліший час дії навантаження ніж розрахунковий 0,1 с.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ТРИЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ ПІДСИЛЕННЯ

3.1 Формування структури асфальтобетонних зразків, залежно від способів їх приготування

Властивості асфальтобетону залежать від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і потребує врахування різноманітних факторів: основні з них – температурні параметри суміші і режим її ущільнення. Ущільнення є завершальною стадією активного структуроутворення асфальтобетону, від ефективності якої залежать насамперед його міцність і довговічність.

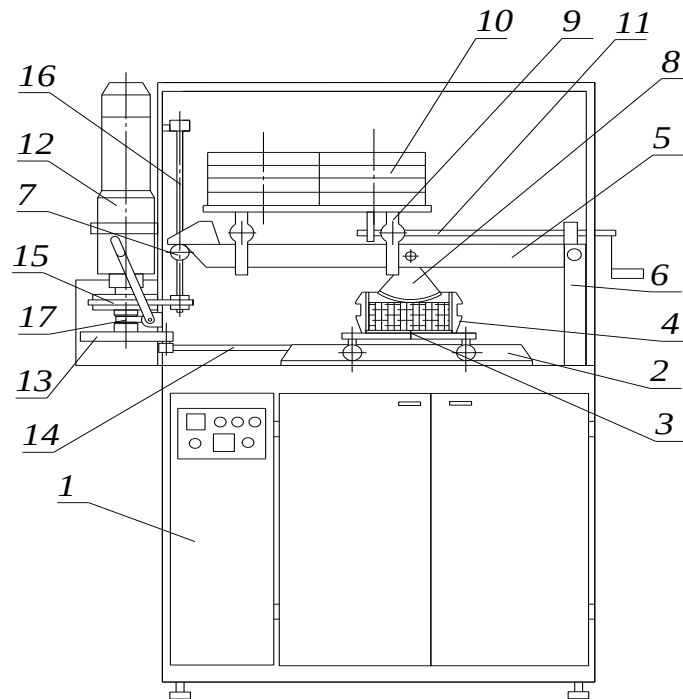
Ущільнення являє собою процес взаємного переміщення часток асфальтобетонної суміші, внаслідок перерозподілу і проникнення дрібних частинок в проміжки між крупними, під дією прикладених механічних зусиль. При цьому збільшується кількість контактів між ними в одиниці об'єму. Процес ущільнення, в основному, направлений на досягнення високих показників щільності. Однак практичний досвід показує, що збільшення щільності не є об'єктивним показником якості асфальтобетону, оскільки залежність між щільністю та показниками міцності порушується за рахунок дроблення мінеральних зерен при збільшених навантаженнях ущільнення.

Структура асфальтобетону, ущільненого котками на дорозі суттєво відрізняється від структури зразків асфальтобетону, ущільнених у лабораторії за стандартною методикою ДСТУ Б В.2.7-319, через різний характер (величину, напрямок дії) механічних зусиль, прикладених при ущільненні.

Це призводить до недостовірності результатів визначення гранулометричного складу асфальтобетону, його фізико-механічних показників при випробуваннях асфальтобетону.

Враховуючи це методи приготування зразків асфальтобетону та методи контролю якості необхідно скоригувати. З цією метою, при приготуванні лабораторних зразків, було запропоновано використати секторний прес

конструкції Радовського – Щербакова (рис. 3.1), що повинно сприяти підвищенню достовірності і надійності контролю якості.



- 1 – шафа; 2 – напрямні; 3 – візок; 4 – форма; 5 – балка; 6 – кронштейн; 7 – гайка; 8 – сектор;
 9 – візок; 10 – рухомий вантаж; 11 – гвинтова передача навантаження; 12 – двигун-редуктор;
 13 – маховик; 14 – тяга; 15 – клино-пасова передача; 16 – гвинтова передача балки;
 17 – муфта

Рисунок 3.1 – Схема секторного преса для виготовлення зразків асфальтобетону

Для перевірки можливості застосування секторного преса для приготування зразків асфальтобетонної суміші, було проведено порівняльні випробування на подрібнення мінеральної частини асфальтобетонів з структурою каркасного типу. Випробування проводили за стандартною методикою на пресі ПСУ-50 за допомогою ущільнювача Маршала та за розробленою методикою на секторному пресі.

Випробуванням було піддано мінеральну суміш, що за своїм гранулометричним складом відповідає гранулометричному складу асфальтобетонів типу «Б» та мінеральну суміш, що відповідає гранулометрії ЩМА з максимальним розміром зерен 15 мм. Зміни у гранулометричному складі кожної суміші визначили ситовим методом, до і після навантаження.

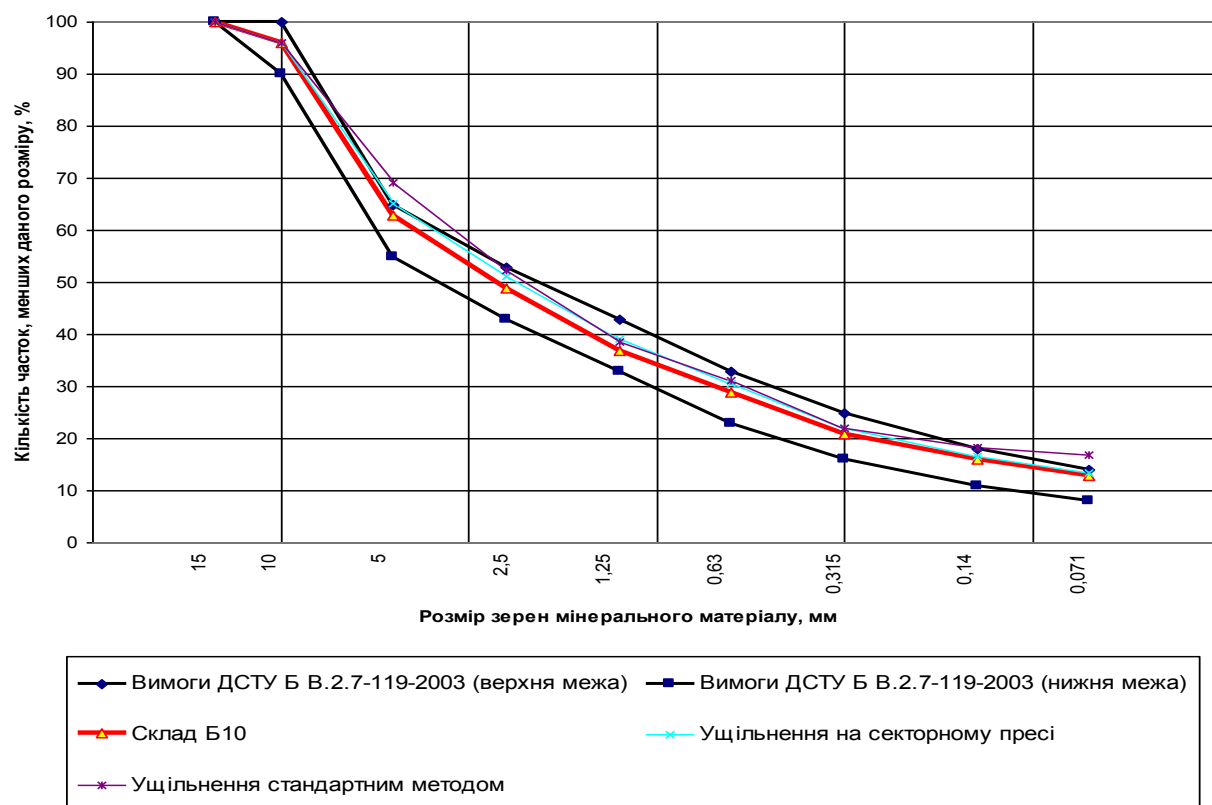


Рисунок 3.2 – Графік зміни гранулометричного складу асфальтобетонних сумішей

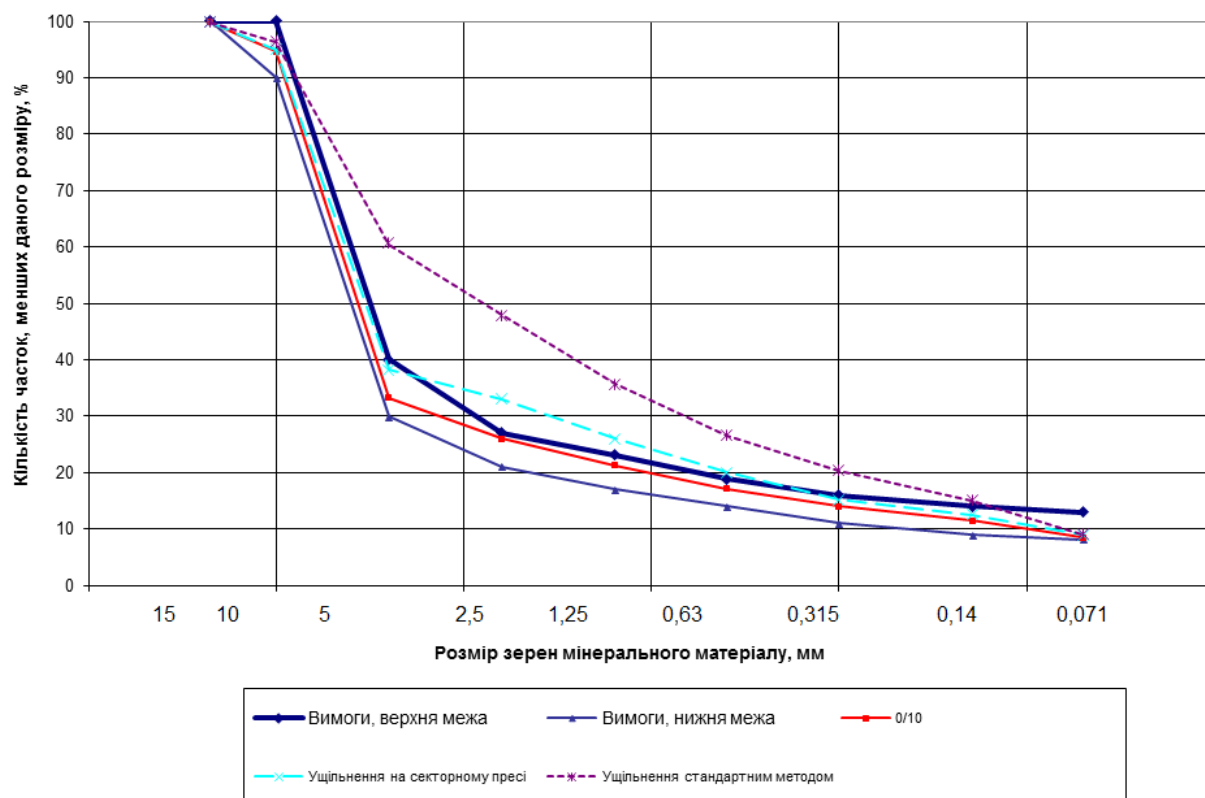


Рисунок 3.2 – Графік зміни гранулометричного складу асфальтобетонних сумішей

3.2 Приготування зразків із асфальтобетону

В лабораторних умовах випробуванням підлягали зразки асфальтобетону у вигляді балочок, відповідних розмірів зі співвідношенням сторін 1:1:4. Зразки виготовлені шляхом розрізання плит, заформованих на секторному пресі згідно СОУ 45.2-00018112-020:2009 «Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій», що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші, подібні умовам ущільнення котками. Асфальтобетонна суміш для приготування зразків відбиралась безпосередньо на асфальтобетонних заводах і на об'єктах будівництва, а також виготовлялась в лабораторних умовах згідно з ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань».

Секторний прес складається із шафи 1, у якій по направляючим 2 рухається візок 3 з встановленою на ньому металевою формою 4, що дозволяє створювати зразки з розмірами в плані 230×160 і товщиною 100 мм. Візок приводиться в рух двигуном-редуктором з маховиком за допомогою тяги 14. Ущільнення суміші в металевій формі здійснюється сектором 8, шарнірно прикріпленим у його центрі до балки 5. Протилежний кінець балки шарнірно з'єднаний з кронштейном 6, укріпленим у шафі. Підйом і опускання важеля з сектором здійснюється за допомогою різьбової гайки 7, яка переміщується гвинтовою передачею 16.

На балці встановлено рухомий вантаж 10, вага якого розрахована за умови забезпечення необхідного питомого тиску на контакті між сектором 8 і поверхнею суміші при її ущільненні, що відповідає тиску при ущільненні дорожніми котками.

Частота проходів сектору становить 30 циклів за хвилину при амплітуді, переміщення візка із сумішшю, що дорівнює довжині зразка.

В зібрану і нагріту до відповідної робочої температури форму засипається необхідна кількість суміші (визначається залежно від необхідної товщини шару).

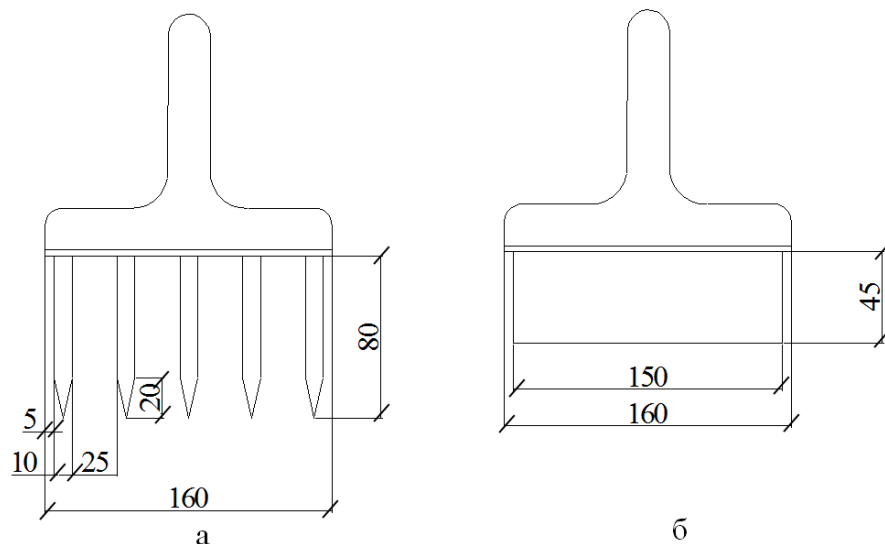


Рисунок 3.4 – Штиковка та шпатель для штикування і розрівнювання асфальтобетонної суміші

Приготовлену асфальтобетонну суміш, що знаходиться у формі, з метою забезпечення рівномірності розподілу по об'єму штикується штиковою, а надлишок суміші знімається шпателем (рис. 3.4 а та 3.4 б відповідно).

Форму із засипаною, проштикованою і вирівняною асфальтобетонною сумішшю встановлюється на візок 3. На сектор за допомогою вантажу 10 та гвинтової передачі 11 встановлюється необхідне навантаження.

Навантаження та кількість його прикладання при ущільненні встановлюється на основі попередніх пробних ущільнень і приймається так, щоб асфальтобетонна суміш ущільнювалась до одержання коефіцієнта ущільнення не менше ніж 0,98.

Після закінчення ущільнення форму разом з асфальтобетонним зразком охолоджують до кімнатної температури, після чого форму потрібно розібрати і вийняти зразок.

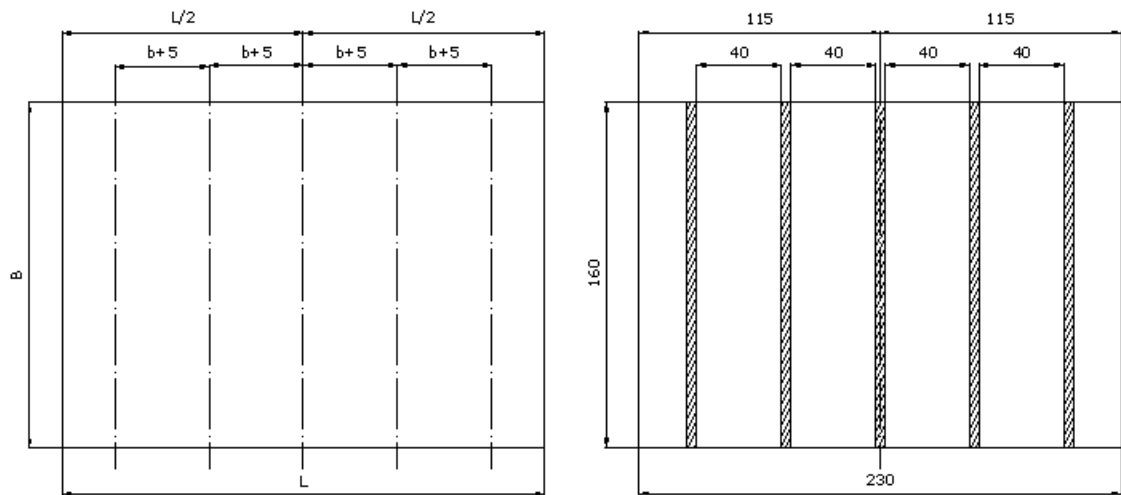
Не раніше ніж через добу після виготовлення, асфальтобетонні плити розпилюються за допомогою каменерізного станка на зразки-балочки (рис. 3.5). Перед розрізанням, на поверхню асфальтобетонної плити наносять осі по яких буде виконуватись розпилювання, згідно з рис. 3.6. Довжина зразка-призми l рівна ширині плити B . Відстань між осями, по яких проводиться розпилювання рівна ширині зразка-призми b плюс ширина прорізу δ , який утворюється при розпилюванні.

Висота кожного зразка-балочки повинна бути рівною двом з половиною максимальним розмірам зерна щебеню; співвідношення сторін 1:1:4.



l – довжина; b – ширина; a – висота

Рисунок 3.5 – Схема зразка-призми асфальтобетону



L – довжина плити; B – ширина плити; b – ширина зразки-призми

Рисунок 3.6 – Схема розрізання асфальтобетонних плит на зразки-призми

3.3 Методика випробування зразків

В процесі лабораторних випробувань визначались розрахункові термомеханічні характеристики асфальтобетону (модуль пружності, показник втоми та міцність на розтяг при згині). Випробування проводились. Попередньо зразки піддавались впливу вертикальних дотичних напружень (τ) (рис. 3.7) без доведення їх до руйнування, потім, для визначення розрахункових характеристик, ці ж зразки випробовувались в умовах розтягу при 4-х точковому згині, за схемою зображеною на рис. 3.8.

Визначення показника втоми

Випробування на втому дорожньо-будівельних матеріалів полягає у моделюванні дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають при згині монолітних шарів від дії колеса транспортних засобів. Випробування монолітних дорожньо-будівельних матеріалів на втому здійснюють у режимі контрольованих горизонтальних напружень. Випробування виконувались згідно СОУ 45.2-00018112-058:2010 «Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому».

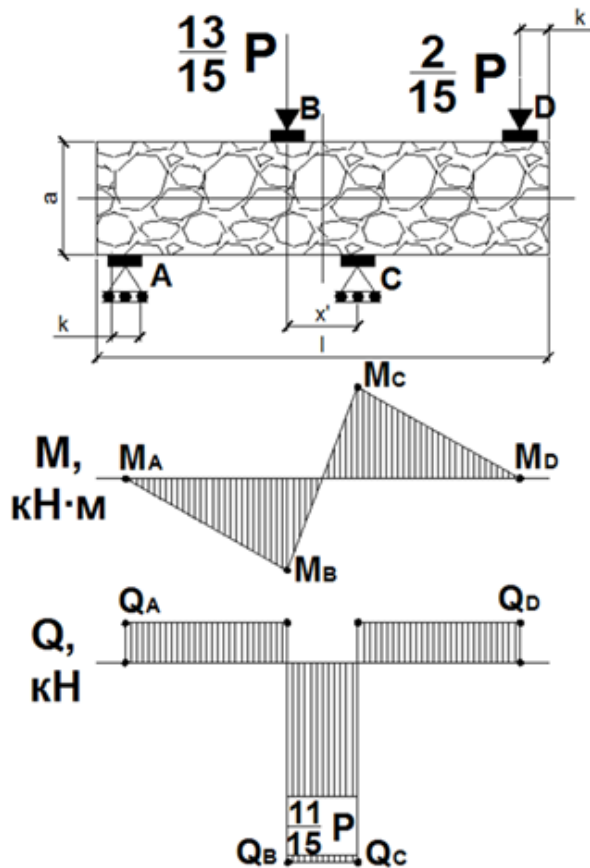


Рисунок 3.7 – Схема випробування зразків на зріз

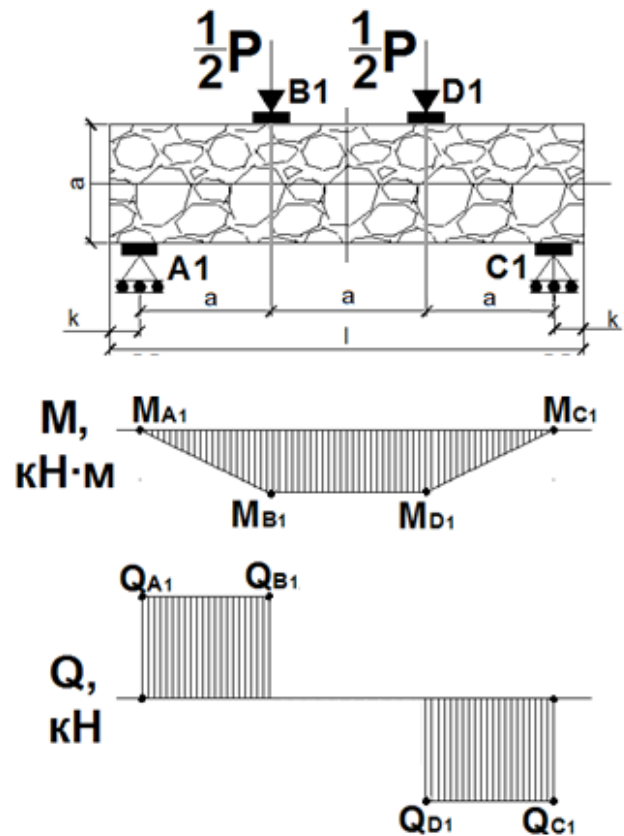


Рисунок 3.8 – Схема випробування зразків на розтяг

Визначення міцності на розтяг при згині

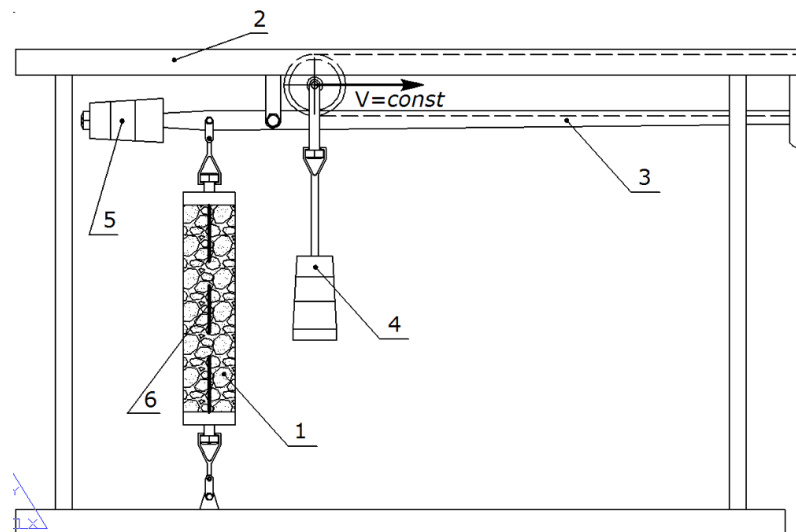
Суть методу полягає у визначенні навантаження, необхідного для руйнування зразка-призми в умовах розтягу при 4-х точковому згині, що забезпечує чистий розтяг в нижній частині зразка в зоні між прикладеними силами. Випробування виконувались згідно СОУ 42.1-37641918-099:2013 «Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення».

Визначення модуля пружності асфальтобетону

Суть випробувань полягає у вимірюванні величини пружного видовження зразка асфальтобетону при навантаженні. Випробування виконувались згідно СОУ 45.2-00018112-059:2010 «Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності».

Одним із ефективних заходів підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу є армування асфальтобетонних шарів армуючими синтетичними матеріалами (далі – АСМ), яке дозволяє підвищити їх тріщиностійкість та збільшити термін служби.

Для встановлення впливу АСМ на міцність асфальтобетону, були виконані випробування композиції «асфальтобетон+АСМ+асфальтобетон». Випробування виконувались за схемою, наведеною нижче (рисунок 3.9), згідно СОУ 45.2-00018112-076:2012 «Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик».



- 1 – асфальтобетонний зразок; 2 – станина (корпус); 3 – консоль;
4 – рухомий вантаж; 5 – вантаж для рівноваги консолі; 6 – АСМ.

Рисунок 3.9 – Схема випробування зразків з армованого асфальтобетону

Термореологічні характеристики асфальтобетону, які використовуються для прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення, що характеризують термов'язкопружну поведінку асфальтобетону при зміні температури, часу дії навантаження, режиму навантаження (функцію

релаксації, функцію температурно-часового зміщення, функцію тривалої міцності) визначали за методологією НТУ [84-87]. Використовуючи теоретичні положення розділу 2 було використано метод встановлення параметрів термореологічних характеристик асфальтобетону, який, базується на використанні експериментальних результатів випробування при постійній швидкості деформування $V_\varepsilon = \text{const}$ при розтягу, що дозволяє використовувати легко доступне і широко розповсюджене пресове обладнання випробувальних лабораторій (формули 2.40; 2.41).

3.5 Вплив добових і річних коливань температури асфальтобетонного покриття при його розрахунку на вигин

Для підтвердження доцільності розрахунків асфальтобетонного покриття при різних поєднаннях температур шарів, що викликають несприятливі зміни властивостей асфальтобетону в шарах дорожнього одягу, було проведено розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану типових конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям для автомобільних доріг I-шої категорії (таблиця 3.2). Характерною особливістю цих конструкцій є наявність двошарового асфальтобетонного покриття, основи, шари якого мають матеріали: асфальтобетон, ЩПС з цементом, ЩПС без в'язучого, і додаткового шару основи з піску на ґрунті з суглинку легкого пилюватого. Конструкції відрізняються між собою використанням в асфальтобетонних шарах різних видів асфальтобетону.

Таблиця 3.2 – Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, прийняті для розрахунку напружено-деформованого стану

Шифр	Конструктивні шари дорожнього одягу і їх товщина
1 ¹	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 $h=5$ см; 2. Асфальтобетон щільний крупнозернистий тип Б, (максимальна крупність мінеральних зерен 40 мм) на бітумі марки БНД 60/90, $h=8$ см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, $h=8$ см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, $h=15$ см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, $h=18$ см; 6. Пісок, $h=20$ см.

Шифр	Конструктивні шари дорожнього одягу і їх товщина
2 ¹	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-15 h=5см; 2. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=8см; 3. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
3 ¹	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий тип А (максимальна крупність мінеральних зерен 20 мм), на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
4 ¹	1. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий на бітумі БНД 60/90 модифікованому полімером, h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.

На підставі результатів досліджень температурного режиму при добових і річних коливаннях, за методикою описаної вище, стосовно до кліматичних умов, характерних для другої дорожньо-кліматичної зони, були отримані графіки добових змін температури асфальтобетонних шарів на різних глибинах від поверхні покриття (0 см; 5 см; 12 см; 20 см) в різні сезони року (рисунки 3.10 - 3.13).

Ці графіки представлені таким чином, що початок координат відповідає максимуму температури поверхні покриття в тіні. Представлені результати свідчать про зменшення амплітуди коливань температури по глибині, що пояснюється теплоізоляційним ефектом. Це також призводить до запізнення максимуму температури: на глибині 5 см – на 2 години; на глибині 12 см – на 5 годин; на глибині 20 см – на 8 годин.

Таким чином, отримані результати свідчать, що амплітуда цих коливань зменшується з глибиною через теплоізоляційні властивості матеріалу, що призводить до прояву ефекту теплової інерційності і створює «запізнююче» зміщення фаз коливань температури.

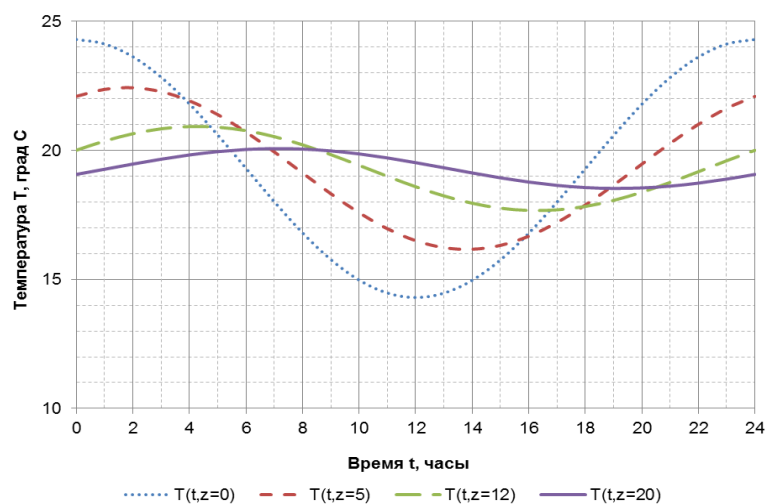


Рисунок 3.10 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в літній період (при нормальних температурах)

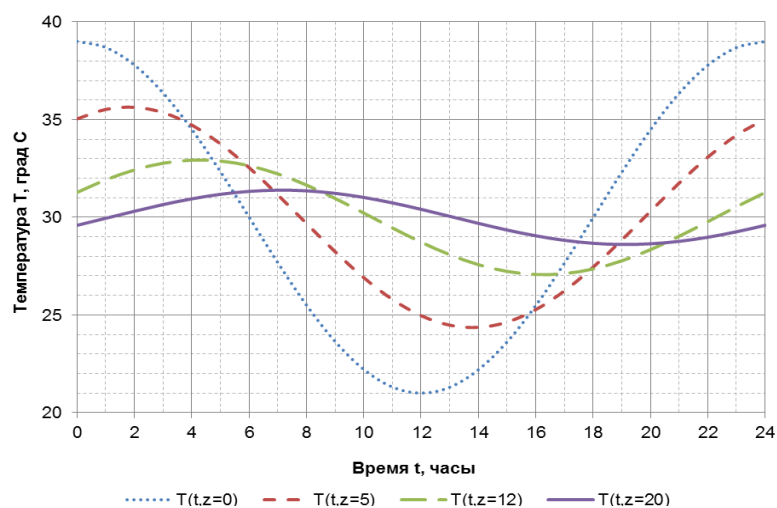


Рисунок 3.11 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в літній період (при підвищених температурах)

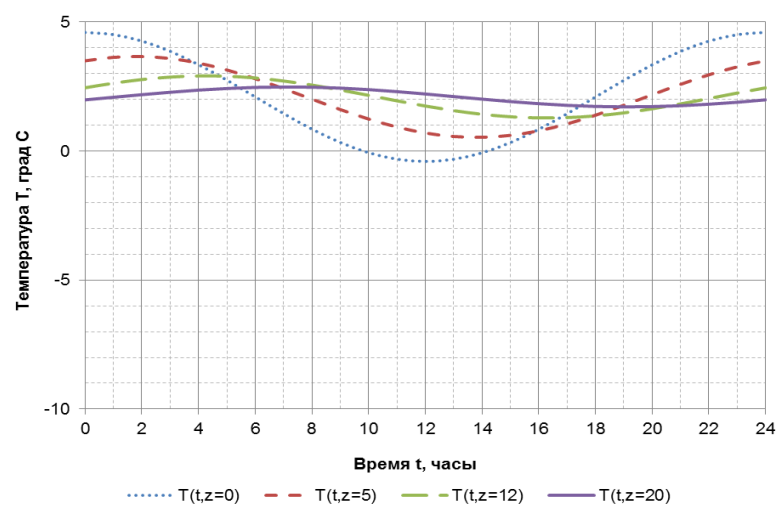


Рисунок 3.12 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в осінній період

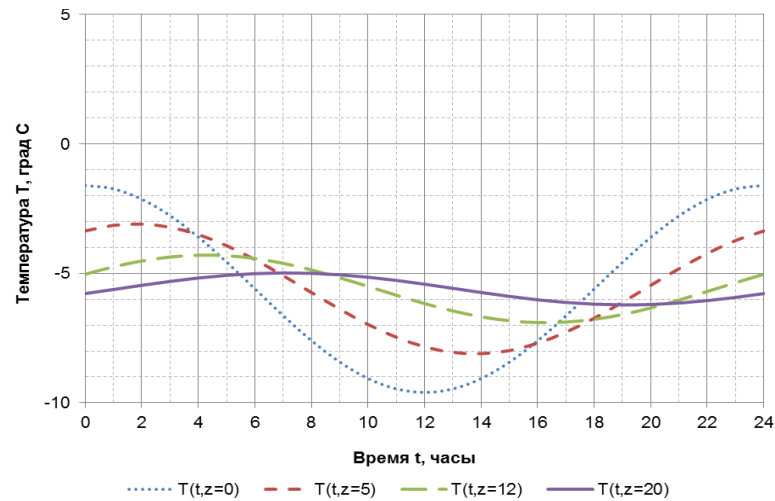


Рисунок 3.13 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в зимовий період

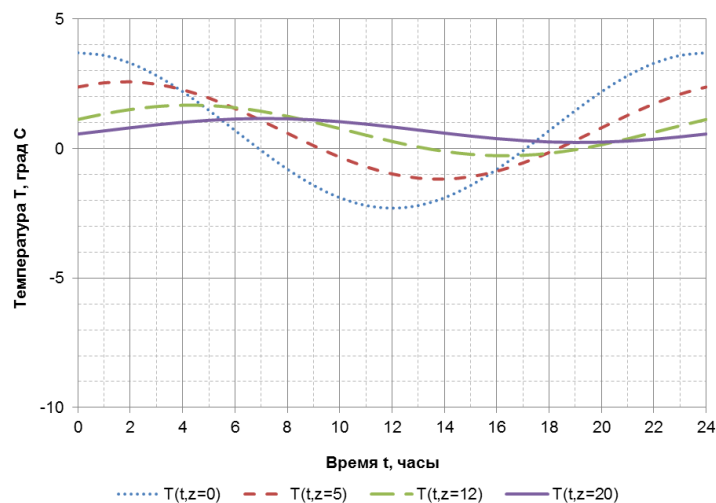


Рисунок 3.14 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу у весняний період

Аналізуючи результати, наведені на рисунках 3.10 - 3.14, можна побачити, що кожену добу протягом декількох годин температура асфальтобетонних шарів на різних глибинах близька між собою з точністю ± 5 °C. Крім того, теплова інерційність в добовому режимі коливань температури призводить до того, що максимальні температури завжди вище в верхніх шарах. При цьому через 12 годин ситуація змінюється - максимальні температури вище в нижніх шарах.

Виходячи з проведеного аналізу характеру зміни температури асфальтобетонних шарів, є очевидним, що різне поєднання температур може виявитися розрахунковим не тільки при низьких весняних температурах (як

прийнято в [16], але і при інших темперних умовах. Для підтвердження даного положення було виконано розрахунок напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. На прикладі конструкції 1¹, на рисунках 3.15-3.16 представлені графічні залежності зміни нормальних вертикальних і горизонтальних напружень по глибині при різних температурах асфальтобетонних шарів для конструкцій дорожніх одягів.

Зміна по глибині нормальних вертикальних напружень свідчить про істотну розподільчу здатність, для аналізованих конструкцій, асфальтобетонних шарів. Ці напруження під асфальтобетонними шарами зменшуються в 2-3 рази. Однак з підвищенням температури від 0 °С до 40 °С їх розподільча здатність дещо зменшується (приблизно в 1.5 рази).

Отримані результати свідчать, що підвищення температури призводить до значного зменшення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в нижній частині асфальтобетонного покриття. А для конструкції 2¹ вони переходять в стискаючі, тобто, при згині конструкції покриття знаходиться в стислій зоні. При цьому для різних конструкцій закономірності зміни розтягуючих напружень зі зміною температури є різні. Однак ці дані також говорять про те, що є небезпека роботи асфальтобетонного покриття в зоні розтягу при позитивних температурах, коли значно зменшується міцність асфальтобетону при розтягу і стійкість до повторних навантажень.

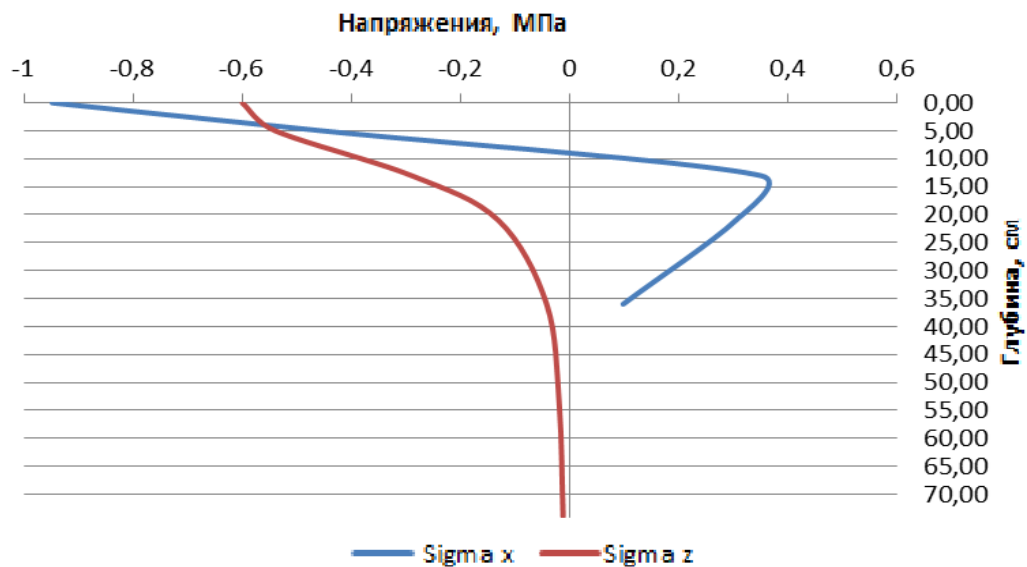


Рисунок 3.15 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу 1¹ при 0 °С

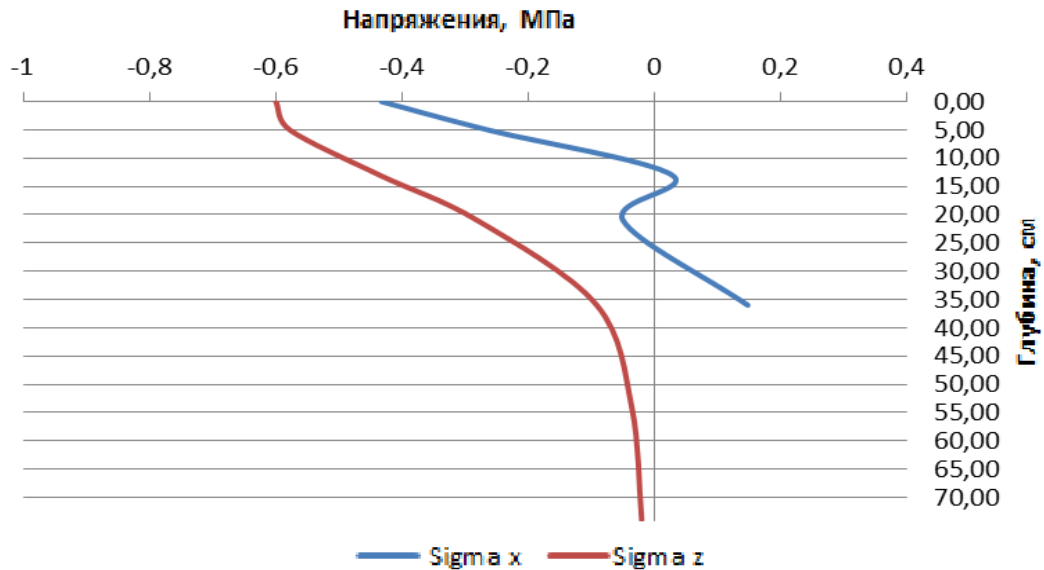


Рисунок 3.16 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу 1¹ при 40 °С

Отримані результати також свідчать, що горизонтальні нормальні розтягуючі напруження покриття змінюються протягом доби при коливаннях температури.

Таким чином, проведений аналіз зміни температурного режиму асфальтобетонного покриття та його напруженого стану показує, що можуть виникати такі поєднання напруженого стану та температур шарів, коли граничний стан, з точки зору утворення втомного руйнування, може наступати і при інших температурах, передбачених методикою (ВБН). У зв'язку з цим, для оцінки впливу температури і напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на його довговічність, була застосована методика [42, 56-57] з використанням модифікованої залежності Бартенєва:

$$t^*(\sigma, T) = B_{\tau}(T) \times \sigma^{-b_{\tau}(T)} \quad (3.1)$$

де $B_{\tau}(T)$, $b_{\tau}(T)$ – постійні, що залежать від температури та тривалості дії навантаження і визначаються за результатами лабораторних випробувань матеріалів;

σ – напруження, що виникають в шарах дорожнього одягу при відповідних температурах.

Для значень параметрів $B_t(T)$ і $b_t(T)$ були отримані аналітичні вирази виду:

$$b_t(T) = A_b + B_b/T' + C_b \times e^{D_b/T'} \quad (3.2)$$

$$\lg B_t(T) = a_B + b_B/T' + r_B \times e^{\rho_B/T'} \quad (3.3)$$

де A_b , B_b , C_b , D_b , a_B , b_B , r_B , ρ_B – постійні, які визначаються за результатами лабораторних випробувань на тривалу міцність при різних температурах і навантаженнях.

При цьому оцінка довговічності проводилася по співвідношенню кількості циклів до руйнування при відповідній температурі шару ($N(T=t)$) до кількості циклів до руйнування при розрахунковій температурі ($N(T=0)$).

В якості прикладу в таблиці 3.3 наведені результати розрахунків відносної довговічності асфальтобетонного покриття для конструкції дорожнього одягу 4¹.

З результатів цих розрахунків випливає, що довговічність асфальтобетонних шарів може зменшитися в 1,5-2,0 рази, при повторних діях короточасних навантажень, коли температури покриття будуть рівні 10 °С або 25 °С.

Таблиця 3.3 – Відносна довговічність асфальтобетонного покриття при різних температурах

T, °C	R, МПа	E, МПа	$B_t(T)$	$b_t(T)$	σ , МПа	$\frac{N_p(T=t)}{N_p(T=0)}$
0	8,8	6256	$6,49 \times 10^8$	5,01	0,31	1,00
10	6	3624	31672755	4,70	0,17	0,58
25	3,16	1440	559029,1	4,32	0,06	0,47

Таким чином, виконаний аналіз свідчить, що істотну роль при прогнозуванні довговічності асфальтобетонного покриття та його розрахунку на міцність відіграють температури, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких весняних температурах, а й при інших значеннях температури. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується міцність асфальтобетону і його стійкість до впливу повторних навантажень. Довговічність покриття при позитивних температурах може зменшуватись в кілька разів.

Проведений аналіз наведених результатів розрахунків свідчить про необхідність моделювання роботи асфальтобетонних покриттів при різних поєднаннях температури шарів з урахуванням її добових і річних коливань.

3.6 Випробування армованого асфальтобетону

3.6.1 Засоби випробувань і допоміжне обладнання

- секторний прес згідно СОУ 45.02-00018112-020 або інше аналогічне обладнання, що дозволяє ущільнювати асфальтобетонну суміш з коефіцієнтом ущільнення не нижче 0,98 (ДСТУ Б В.2.7-89-99) в лабораторних умовах та виготовляти зразки у формі плит;

- каменерізний станок за ГОСТ 30081 або інше каменерізне обладнання, яке забезпечує проріз на глибину не менше ніж 160 мм і шириною не більше ніж 5 мм на довжині не менше ніж 650 мм;

- лінійка металева довжиною 1 м з ціною поділки 1 мм за ДСТУ ГОСТ 427;

- штангенциркуль за ДСТУ ГОСТ 166 з ціною поділки 0,1 мм, що забезпечує вимірювання довжини до 200 мм;

- шафа електрична сушильна, що забезпечує відтворення температури до плюс 200 °С з похибкою ± 1 °С;

- термометр хімічний ртутний скляний, що забезпечує вимірювання температури до плюс 200 °С з ціною поділки шкали 1°С за ГОСТ 400;

- фольга алюмінієва за ГОСТ 618;

- клей БФ-2 за ГОСТ 12172;
- клей епоксидний за ТУ У 24.6-2599820133-001 або композиція «Макро» за ТУ У 14365231.01-93;
- папір за ДСТУ EN 12281;
- засоби випробування і допоміжні пристрої за ДСТУ Б В.2.7-89.

Правила приготування зразків з асфальтобетону

Зразки виготовляють на секторному пресі (СОУ 45.2-00018112-020) або іншими методами. При застосуванні секторного преса ущільнення здійснюють послідовно: 40 навантажень на одне місце при зусиллі на сектор 800 Н та 80 навантажень на одне місце при зусиллі на сектор 1400 Н. Режим ущільнення уточнюється експериментально.

Асфальтобетонна суміш, що використовується для виготовлення зразків, може бути приготована в лабораторних умовах згідно ДСТУ Б В.2.7-89 чи інших відповідних нормативних документів або взята з проб, відібраних безпосередньо на асфальтобетонному заводі чи на об'єкті будівництва.

В зібрану і нагріту до відповідної робочої температури металеву форму засипається нагріта до такої ж робочої температури асфальтобетонна суміш (ДСТУ Б В.2.7-119) для отримання зразків необхідних розмірів.

Після закінчення ущільнення асфальтобетонний зразок охолоджують до кімнатної температури і на його поверхню наносять шар підґрунтовки. Вид та витрата призначається згідно ДБН В.2.3-4 або з врахуванням даних виробника армуючого матеріалу.

У разі необхідності для встановлення оптимального виду та кількості підґрунтовки для забезпечення найкращого зчеплення армованих асфальтобетонних шарів доцільно з урахуванням рекомендацій [54] та методики СОУ 45.2-00018112-046 здійснити відповідні попередні випробування.

Після нанесення підґрунтовки укладають армуючий матеріал за технологією його виробника.

Для завершення формування зразка армованого асфальтобетону у ту ж саму форму засипають асфальтобетонну суміш верхнього шару та виконують операцію (у разі уточнення режиму ущільнення при формуванні нижнього шару асфальтобетону такі ж самі параметри ущільнення застосовують і для верхнього шару асфальтобетону).

Після закінчення ущільнення верхнього шару заформований зразок охолоджують до кімнатної температури і не раніше, ніж через добу форму розбирають.

Виготовлений зразок розмічають та розпилюють за допомогою каменерізного станка на зразки необхідних розмірів, що передбачені для випробувань. Для цього на поверхню асфальтобетонної плити наносять осі, по яких буде виконуватись розпилювання (рис. 3.17). Відстань між осями, по яких проводиться розпилювання, дорівнює ширині b та довжині l зразка плюс ширина прорізу δ , який утворюється при розпилюванні.

Розміри плит та зразків неармованого асфальтобетону, заформованих в один шар, призначаються в залежності від максимальної крупності заповнювачів і наведені в СОУ 45.2-00018112-76.

Розміри плит та зразків армованого асфальтобетону (рис. 3.18, 3.19), для визначення його розрахункових характеристик, призначаються в залежності від максимальної крупності мінеральних матеріалів і наведені в СОУ 45.2-00018112-76.

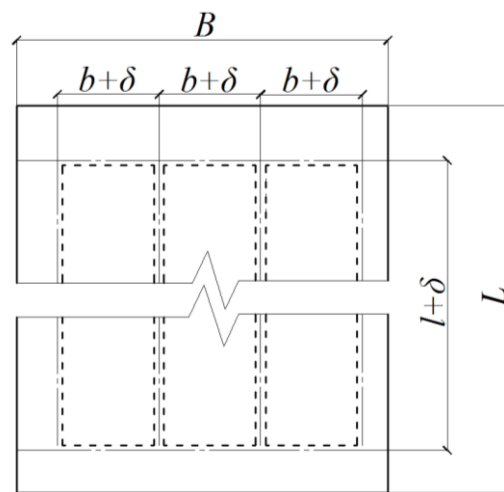
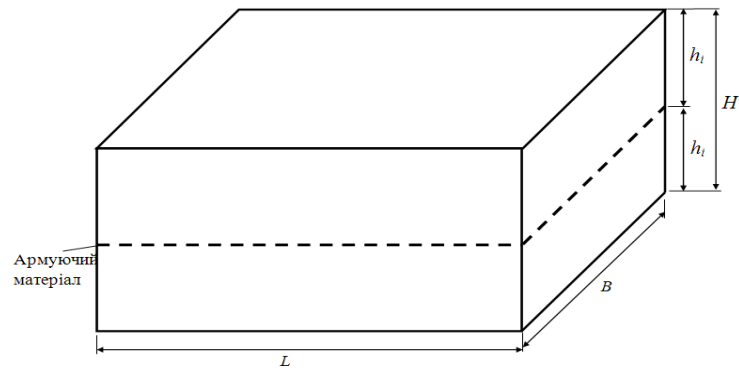
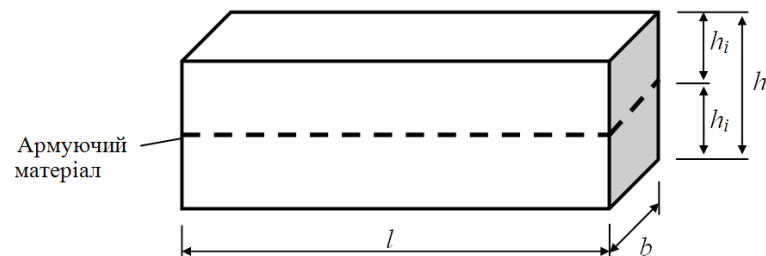


Рисунок 3.17 – Схема розпилювання плит армованого асфальтобетону



L – довжина плити; B – ширина плити; h_i – товщина шару (призначається в залежності від максимальної крупності заповнювача ($D_{\max}$)); H – товщина асфальтобетонного зразка

Рисунок 3.18 – Схема плити з армованого асфальтобетону



l – довжина; b – ширина; h – товщина зразка-призми (призначається в залежності від максимальної крупності заповнювача ($D_{\max}$))

Рисунок 3.19 – Схема зразка з армованого асфальтобетону, підготовленого до випробування

Після розпилювання приготувані зразки очищають та висушують до постійної маси.

Торці зразків за допомогою ватного тампону знежирюють ацетоном (ГОСТ 2603), а потім обезводнюють спиртом (ГОСТ 5962) до тих пір, поки вата не буде зовсім чистою.

На торці асфальтобетонних зразків з обох сторін, за допомогою епоксидного клею (ТУ У 24.6-2599820133-001) або композиції «Макро» (ТУ У 14365231.01-93), наклеюють металеві накладки, які розташовують симетрично і співвісно.

Металеві накладки для випробування зразків з армованого асфальтобетону мають розміри:

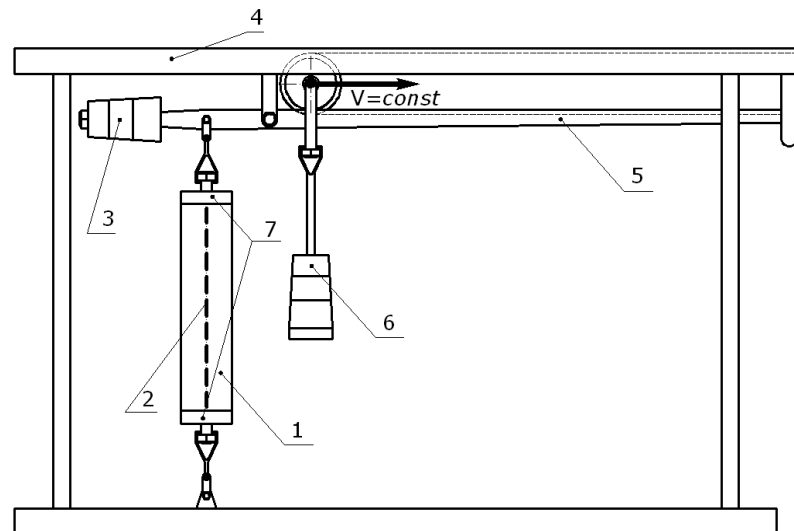
- 1) для асфальтобетону з максимальною крупністю заповнювача до 10 мм – 30 мм × 60 мм;
- 2) для асфальтобетону з максимальною крупністю заповнювача до 20 мм – 60 мм × 120 мм;
- 3) для асфальтобетону з максимальною крупністю заповнювача до 40 мм – 120 мм × 160 мм.

Для запобігання контакту армуючого матеріалу з металевими накладками в зоні їх взаємодії наклеюють паперові смужки шириною 3 мм за допомогою клею БФ-2.

3.6.2 Визначення показника втоми

3.6.2.1 Засоби випробувань і допоміжне обладнання

- прилад, схема якого наведена на рисунку 3.20, або прилади іншої конструкції, що дозволяють забезпечувати випробування із зростаючим з постійною швидкістю навантаженням на зразок в умовах осьового розтягу;



1 – зразок з армованого асфальтобетону; 2 – армуючий матеріал; 3 – вантаж для рівноваги консолі; 4 – станина (корпус); 5 – консоль; 6 – рухомий вантаж; 7 – металеві накладки

Рисунок 3.20 – Схема приладу для випробування зразків з армованого асфальтобетону для визначення параметру втоми

- термометр хімічний ртутний скляний, що забезпечує вимірювання температури до плюс 100 °С з ціною поділки шкали 1 °С за ГОСТ 400;
- секундомір механічний з ціною поділки шкали 0,2 с за ГОСТ 5072;
- фольга алюмінієва за ГОСТ 618;
- папір за ГОСТ 18510;
- клей «БФ-2» за ГОСТ 12172.

3.6.2.2 Підготовка зразків

За допомогою клею БФ-2 наклеюють смужку з алюмінієвої фольги шириною 10 мм на дві протилежні сторони бокових граней по всій довжині зразка.

6.2.2 Підготовлені зразки термостатують при заданій температурі (згідно ВБН В.2.3-218-186 – 0 °С) протягом часу:

- 1) для зразків з армованого асфальтобетону розміром 30 мм × 60 мм × 120 мм – не менше двох годин;
- 2) для зразків з армованого асфальтобетону розміром – 60 мм × 120 мм × 240 мм – не менше трьох годин;
- 3) для зразків з армованого асфальтобетону розміром – 120 мм × 160 мм × 320 мм – не менше чотирьох годин.

Час термостатування уточнюють за даними вимірювань температури у контрольному зразку.

3.6.2.3 Проведення випробувань

Призначають швидкість росту навантаження $V_{\sigma I}$.

У прилад встановлюють зразок. Прилад врівноважують так, щоб навантаження не передавалось на зразок.

Випробування здійснюють при постійній швидкості навантаження V_{σ} . Її значення регулюють за допомогою величини рухомого вантажу 6 та швидкості його переміщення по консолі 5.

Орієнтовне значення швидкості $V_{\sigma I}$ навантаження зразка армованого асфальтобетону становить 0,654 МПа/с. Значення швидкості $V_{\sigma I}$ вважається прийнятним, якщо час до руйнування зразка становить в межах від 10 до 100 секунд. В іншому випадку значення $V_{\sigma I}$ корегується.

Час до руйнування встановлюється від початку навантаження зразка армованого асфальтобетону до моменту утворення тріщини в тілі асфальтобетону, момент утворення якої фіксується розривом наклеєної алюмінієвої смужки на бокових гранях зразку, що призводить до розмикання електричного ланцюга та зупинки електроприладу, що рухає рухомий вантаж 6 по консолі 5. Час t_1 (с) до руйнування обраховують за результатами вимірювання величини лінійного переміщення вантажу S (мм) за допомогою мірної лінійки за залежністю

$$t_1 = \frac{S}{V_s}, \quad (3.4)$$

де V_s – швидкість переміщення рухомого вантажу, мм/с.

Призначають іншу швидкість росту навантаження $V_{\sigma 2}$. Її значення приймаються в діапазоні $V_{\sigma 2} = (0,001-0,01)V_{\sigma 1}$. Повторюють випробування за пунктами 6.3.2, 6.3.3 при швидкості росту навантаження $V_{\sigma 2}$.

3.6.2.4 Обробка результатів випробування

Визначають параметри функції довговічності B_τ , b_τ за аналітичними залежностями

$$b_\tau = \frac{\lg V_{\sigma 1} / V_{\sigma 2}}{\lg \sigma_1 / \sigma_2} - 1, \quad (3.5)$$

$$B_\tau = \frac{\sigma_1^{b_\tau + 1}}{V_{\sigma 1}(b_\tau + 1)}, \quad (3.6)$$

де σ_1 , σ_2 – граничне напруження відповідно при першій та другій швидкості наростання навантаження ($\sigma_1 = V_{\sigma 1} t_1$; $\sigma_2 = V_{\sigma 2} t_2$), МПа;

$V_{\sigma 1}$, $V_{\sigma 2}$ – перша та друга швидкість наростання навантаження, МПа/с.

Показник втоми армованого асфальтобетону m визначають за формулою

$$m = \frac{1}{b_\tau}. \quad (3.7)$$

Для забезпечення необхідної точності визначення показника втомивстановлюють кількість зразків для випробувань за методикою додатку А СОУ 45.2-00018112-076.

3.6.3 Визначення міцності на розтяг асфальтобетону

Міцність на розтяг асфальтобетону визначають за формулою

$$R_{\text{лаб}} = \left(\frac{B_\tau}{t} \right)^{\frac{1}{b_\tau}}, \quad (3.8)$$

де B_τ , b_τ – параметри функції довговічності;

t – розрахунковий час дії навантаження, що дорівнює 0,1 секунди.

3.6.4 Визначення модуля пружності асфальтобетону

3.6.4.1 Засоби випробувань і допоміжне обладнання

- прилад для визначення модуля пружності, схема якого наведена на рисунку 3.21, або прилади іншої конструкції, що дозволяють забезпечувати передбачену цим стандартом схему прикладання навантаження на зразок та задані режими навантаження;

- термометр хімічний ртутний скляний, що забезпечує вимірювання температури до плюс 100 °С з ціною поділки шкали 1 °С за ГОСТ 400;

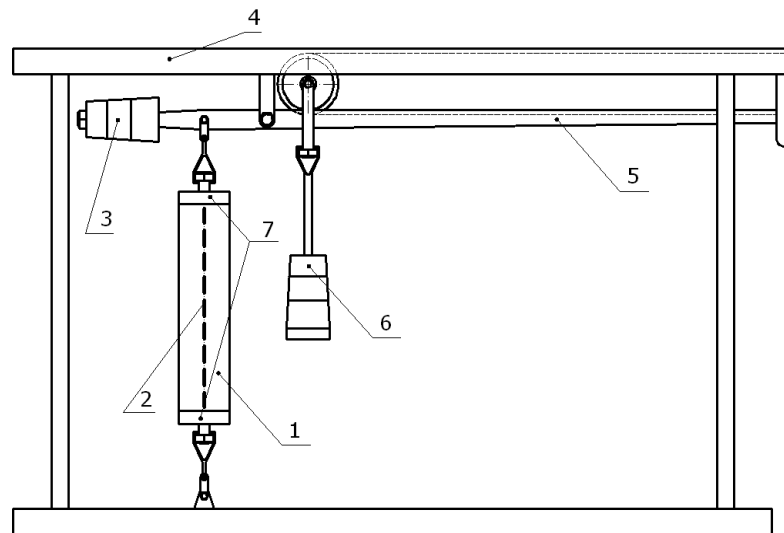
- тензометричні датчики для вимірювання деформацій з довжиною вимірювальної бази 20 мм за ГОСТ 28836;

- шкурка шліфувальна за ГОСТ 6456;

- програмно-апаратний комплекс для одержання та опрацювання інформації, яка надходить з тензометричних датчиків.

3.6.4.2 Підготовка зразків

На зразки симетрично і співвісно наклеюють тензодатчики (ГОСТ 28836) для вимірювання відносних деформацій. Датчики відносної деформації наклеюють з обох боків по гранях зразка за методикою, наведеною у додатку В. Підготовлені зразки термостатують.



1 – зразок з армованого асфальтобетону; 2 – армуючий матеріал; 3 – вантаж для рівноваги консолі; 4 – станина (корпус); 5 – консоль; 6 – рухомий вантаж; 7 – металеві накладки

Рисунок 3.21 – Схема приладу для випробування зразків з армованого асфальтобетону для визначення модуля пружності

3.6.4.3 Проведення випробувань

Випробування проводять при чотирьох рівнях навантаження: $F_1=0,25F_{max}$; $F_2=0,5F_{max}$; $F_3=0,75F_{max}$; $F_4=F_{max}$. Максимальне навантаження на зразок F_{max} для визначення модуля пружності визначають з умови $F_{max}=0,3R_{lab}$.

Для розтягу зразків в отвори металевих накладок вгвинчують гвинти, які зачіпляють за шарнірні фіксатори.

Зразки з металевими накладками 7 встановлюють вертикально. Рухомий вантаж 6 (рис. 3.20) встановлюють таким чином, щоб консоль 5 разом із рухомих вантажем 6 була урівноважена з вантажем 3. Фіксують консоль, щоб вона була нерухомою.

Переміщують рухомий вантаж 6 вздовж консолі на певну відстань, щоб створити навантаження F_1 на зразок.

Фіксатор консолі переводять в положення, щоб звільнити консоль. Таким чином навантаження передається на зразок.

Фіксують величину пружного видовження зразка. Розвантажують зразок, урівноважують консоль та фіксують її, щоб вона була нерухомою.

Переміщують рухомий вантаж 6 вздовж консолі на певну відстань, щоб створити по черзі навантаження F_2, F_3, F_4 на зразок та виконують вимірювання величини пружного видовження зразка.

Час дії навантаження для визначення модуля пружності дорівнює 0,1 с.

3.6.4.4 Обробка результатів випробувань

При кожному рівні навантажень встановлюють необхідну мінімальну кількість зразків n_{min} , для визначення модуля пружності асфальтобетону.

Для кожного з відібраних для випробування зразків, вимірюють значення відносної деформації ε_i та встановлюють середнє значення $\bar{\varepsilon}$ при даному рівні навантаженні

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{min}} \varepsilon_i}{n_{min}}. \quad (3.9)$$

Будують графічну залежність $\bar{\varepsilon} = f(F)$ і за значеннями F і $\bar{\varepsilon}$ для прямолінійної ділянки рисунку 3.22, обчислюють значення модуля пружності E у МПа за залежністю:

$$E = \frac{F}{A\bar{\varepsilon}}, \quad (3.10)$$

де F – довільне значення навантаження, що знаходиться на прямолінійній ділянці;

A – площа зразка;

$\bar{\varepsilon}$ – середнє значення відносної деформації, що відповідає значенню навантаження F на прямолінійній ділянці графічної залежності.

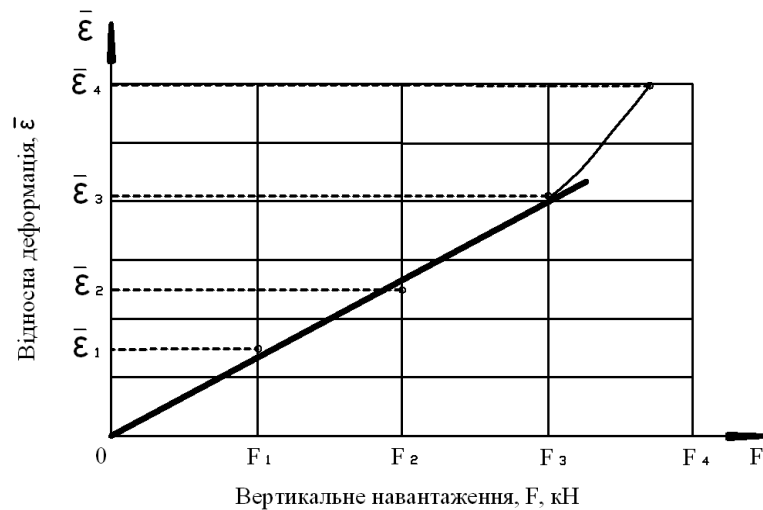


Рисунок 3.22 – Залежність відносної деформації зразка $\bar{\varepsilon}$ від навантаження F

3.7 Методика числового експерименту

При дослідженні різних факторів на напружено-деформований стан асфальтобетонних шарів підсилення використовували методологію професора В.І. Гуляєва, що базується на методі скінченних елементів [39, 40, 57, 59]. Ця методологія дозволяє для неоднорідного шаруватого масиву конструкції дорожнього одягу при відповідних граничних умовах на відповідних граничних площинах розв'язувати відповідні рівняння теорії пружності числовим методом. Крім того, було здійснено числовий аналіз впливу тріщинувато-блочної основи на напружено-деформований стан асфальтобетонних шарів підсилення (Додаток В). Результати свідчать про наступне. У випадку, коли штамп від навантаження розташований над краєм блоку основи, спостерігається значне збільшення як горизонтальних розтягуючих нормальних напружень над границею між блоками основи, так і дотичних перерізаючих напружень. При збільшенні товщини асфальтобетонних шарів підсилення у 1,5 – 2,0 рази горизонтальні нормальні напруження майже залишаються незмінні, а дотичні перерізаючі напруження у 1,5 рази зменшуються. У випадку, коли штамп від навантаження розташований над границею блоку основи горизонтальні нормальні розтягуючі напруження у нижній фібрі асфальтобетонних шарів підсилення збільшуються вдвічі у порівнянні з попереднім варіантом розташування штампу, а дотичні перерізаючі напруження зменшуються у 4 рази. При цьому, збільшення товщин у 1,5 – 2,0

рази горизонтальні нормальні розтягуючі та дотичні перерізаючі напруження збільшуються на 5-10%.

Наведені результати числових досліджень свідчать про можливість врахування спільної ролі як горизонтальних нормальних напружень, так і дотичних перерізаючих напружень на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення. Результати числового аналізу отримані спільно з Густєєвим О.О., Бараном С.А., Шлюнь Н.В., Шевчук Л.В [39, 40, 57, 59].

3.8 Натурні обстеження асфальтобетонних шарів підсилення

Натурні обстеження асфальтобетонних шарів підсилення виконувались під час науково-технічного супроводу виконання будівельних робіт на автомобільних дорогах загального користування, міських вулицях і дорогах. При цьому, виконувались спостереження за поведінкою асфальтобетонних шарів підсилення із застосуванням різних конструктивних та матеріалознавських рішень. Отримані результати дозволили підтвердити актуальність та достовірність дисертаційних досліджень.

3.9 Висновки по розділу

На основі проведеного аналізу отриманих дисертантом та відомих експериментальних результатів визначення термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів проведено числовий аналіз із застосуванням методики скінченно-елементного моделювання та експериментальні стендові і натурні випробування, що підтверджують актуальність і достовірність дисертаційних досліджень, які передбачають урахування вертикальних дотичних напружень на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення. Проведеними дослідженнями було встановлено, що при умові коли вертикальні дотичні напруження становлять 0,3 від їх руйнівного значення, то час до руйнування зразків асфальтобетону при дії розтягуючих напружень зменшується у 2-3 рази. Застосування АСМ в шарах підсилення (особливо над тріщинами існуючої асфальтобетонної основи) дозволяє збільшити кількість транспортних

навантажень до моменту появи тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення, більше ніж у 10 разів. Експериментальними дослідженнями встановлено, що ефективність заходів підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу за рахунок застосування АСМ залежить від їх циклічної довговічності між асфальтобетонними шарами.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Методика розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині

В загальному випадку порядок розрахунку часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення представлена на рис. 4.1.

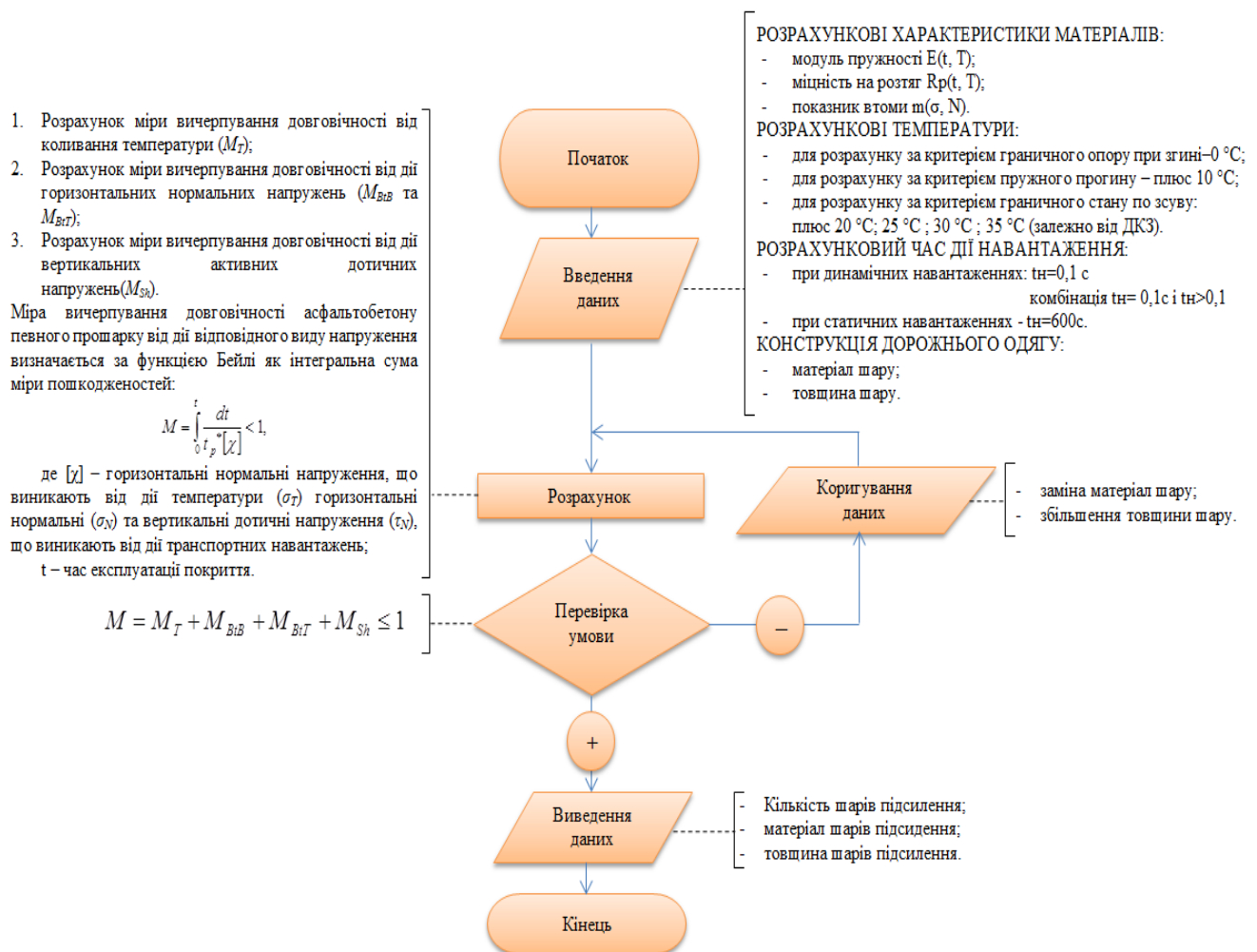


Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення

Для випадків бінарних режимів навантаження згідно з табл. 1.1 методика розрахунку дорожніх одягів для відповідних ділянок руху може бути представлена в наступному вигляді.

При розрахунку дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності на зупинках і перехрестях доріг в одному рівні за критерієм опору втомного руйнування від розтягування при вигині, що викликають горизонтальні розтягуючі нормальні напруження під дією повторних короточасних навантажень при рівні завантаження рухом не більше 0,7 с тривалістю дії навантаження 0,1 с і 10 с, не повинні протягом заданого терміну служби призводити до утворення тріщин від втомного руйнування. Для цього має бути забезпечено умова:

$$\sigma_r^{0,1} < \frac{R_N^{0,1+10}}{K_{np}^{mp}}, \quad (4.1)$$

де K_{np}^{mp} – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (таблиця 3.1 ОДН 218.046-01);

$R_N^{0,1+10}$ – міцність матеріалу шару на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 0,1 с і 10 с;

$\sigma_r^{0,1}$ – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 0,1 с.

Розрахункове розтягуюче напруження $\sigma_r^{0,1}$ визначається за формулою (4.2).

$$\sigma_r^{0,1} = \bar{\sigma}_r^{0,1} \cdot p \cdot \kappa_\theta, \quad (4.2)$$

де $\bar{\sigma}_r^{0,1}$ – розтягуюче напруження при тривалості дії навантаження 0,1 с від одиничного навантаження при розрахункових діаметрах площі, що передає навантаження (табл. 1.2), та визначається за ВБН В.2.3-218-186;

κ_θ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\theta = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, яке встановлюється згідно ВБН В.2.3-218-186.

З метою визначення розтягуючого напруження $\bar{\sigma}_r^{0,1}$ встановлюються модулі пружності при тривалості дії навантаження 0,1 с: для асфальтобетону – по таблиці 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна – на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186.

Міцність матеріалу шару $R_N^{0,1+10}$ на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 0,1 с і 10 с визначають за формулою:

$$R_N^{0,1+10} = R_o^{0,1} k_1^{0,1+10} k_2 (1 - v_R \cdot t), \quad (4.3)$$

де $k_1^{0,1+10}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності внаслідок втомних явищ при багаторазовому прикладанні навантаження як при тривалості дії 0,1 с, так і 10 с;

k_2 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від впливу погодно-кліматичних факторів (таблиця 3.6 ВБН В.2.3-218-186);

v_R – коефіцієнт варіації міцності на розтяг (Додаток 4 ВБН В.2.3-218-186);

t – коефіцієнт нормативного відхилення (Додаток 4 ВБН В.2.3-218-186).

Коефіцієнт $k^{0,1+10}_1$, що відображає вплив на міцність втомних процесів, обчислюють за виразом:

$$k^{0,1+10}_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N^{0,1+10}_p}}, \quad (4.4)$$

де m – показник ступеня, що залежить від властивостей матеріалу розраховується монолітного шару (Додаток 3, табл. П.3.1 ВБН В.2.3-218-186);

α – коефіцієнт, що враховує відмінність в реальному і лабораторному режимах розтягування повторним навантаженням, а також ймовірність збігу в часі розрахункової (низької) температури покриття і розрахункового стану ґрунту робочого шару по вологості (Додаток 3, табл. П.3.1 ВБН В.2.3-218-186).

$\sum N^{0,1+10}_p$ – розрахункове еквівалентне сумарне число прикладань

розрахункового навантаження як з тривалістю дії 0,1 с, так і 10 с за термін служби асфальтобетонного покриття, визначають за формулою:

$$\Sigma N_p^{0,1+10} = \delta_{10} \cdot \Sigma N_p \cdot \beta_{0,1+10} + (1 - \delta_{10}) \cdot \Sigma N_p, \quad (4.5)$$

де ΣN_p – розрахункове сумарне число прикладань розрахункового навантаження за термін служби монолітного покриття, яке визначається відповідно з ВБН В.2.3-218-186;

δ_{10} – частка від загальної кількості автомобілів в потоці, затриманих на зупинках або у перетині доріг в одному рівні (визначається на основі техніко-економічних досліджень при визначенні інтенсивності і складу руху);

$\beta_{0,1+10}$ – коефіцієнт, що відображає вплив на втомне руйнування розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 0,1 с і 10 с, визначається за формулою:

$$\beta_{0,1+10} = \left(\frac{R_o^{0,1} \cdot \sigma_r^{10}}{R_o^{10} \cdot \sigma_r^{0,1}} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (4.6)$$

де R_o^{10} – нормативне значення граничного опору розтягу(міцність) при вигині при розрахунковій низькій весняній температурі і одноразовому прикладанні навантаження з тривалістю 10 с, приймається за табл. 3.1 ВБН В.2.3-218-186;

$R_o^{0,1}$ – теж з тривалістю 0,1 с;

σ_r^{10} – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 10 с.

Розрахунок розтягуючого навантаження σ_r^{10} при довготривалій дії навантаження 10 с визначається за формулою:

$$\sigma_r^{10} = \bar{\sigma}_r^{10} \cdot p \cdot \kappa_\epsilon, \quad (4.7)$$

де $\bar{\sigma}_r^{10}$ – розтягуюча напруження при тривалості дії 10 с від одиничного навантаження, при розрахункових при розрахункових діаметрах площі, що передає навантаження (табл. 1.2), що визначається за номограмою рис. 3.4 ВБН В.2.3-218-186 (модулі пружності для асфальтобетону встановлюють по табл. 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186 і з урахуванням коефіцієнтів для перерахунку значення модуля пружності при тривалості дії навантаження відповідно до таблиць 3.2 - 3.9 ВБН В.2.3-218-186);

κ_ϵ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\epsilon = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, яке встановлюється згідно табл. П 1.1 ВБН В.2.3-218-186.

При розрахунку дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності на підходах до перетину з залізничними коліями при рівні завантаження рухом не більше 0,7 с, тривалістю дії навантажень 0,1 с і 600 с по критерію опору втомного руйнування від розтягування при вигині, що викликають горизонтальні розтягуючі нормальні напруження під дією повторних короткочасних навантажень не повинні протягом заданого терміну служби призводити до утворення тріщин від втомного руйнування. Для цього має бути забезпечено умова:

$$\sigma_r^{0,1} < \frac{R_N^{0,1+600}}{K_{np}^{mp}}, \quad (4.8)$$

де K_{np}^{mp} – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (табл. 3.1 ВБН В.2.3-218-186);

$R_N^{0,1+600}$ – міцність матеріалу шару на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 0,1 с і 600 с;

$\sigma_r^{0,1}$ – найбільш розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 0,1 с.

Розрахункове розтягуюче напруження $\sigma_r^{0,1}$ визначається за формулою:

$$\sigma_r^{0,1} = \bar{\sigma}_r^{0,1} \cdot p \cdot \kappa_\epsilon, \quad (4.9)$$

де $\bar{\sigma}_r^{0,1}$ – розтягуюче напруження при тривалості дії навантаження 0,1 с від одиничної навантаження при розрахункових діаметрах площі, що передає навантаження (табл. 1.2 ВБН В.2.3-218-186), визначається за номограмою рис. 3.4 ВБН В.2.3-218-186 (модулі пружності для асфальтобетону встановлюють по табл. 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186 і з урахуванням коефіцієнтів для перерахунку значення модуля пружності при тривалості дії навантаження відповідно до табл. 3.2 - 3.9 ВБН В.2.3-218-186);

κ_ϵ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\epsilon = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, встановлюється відповідно таблиці П 1.1 ВБН В.2.3-218-186.

Міцність матеріального шару $R_N^{0,1+600}$ на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 0,1 с і 600 с визначають за формулою:

$$R_N^{0,1} = R_o^{0,1} k_1^{0,1+600} k_2 (1 - v_R \cdot t), \quad (4.10)$$

де $k_1^{0,1+600}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності внаслідок втомних явищ при багаторазовому додатку навантаження;

k_2 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від впливу погодно-кліматичних факторів (таблиця 3.6 ВБН В.2.3-218-186);

v_R – коефіцієнт варіації міцності на розтягнення (Додаток 4

ВБН В.2.3-218-186);

t – коефіцієнт нормативного відхилення (Додаток 4 ВБН В.2.3-218-186).

Коефіцієнт $k_1^{0,1+600}$, що відображає вплив на міцність втомних процесів, обчислюють за виразом:

$$k_1^{0,1+600} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{0,1+600}}}, \quad (4.11)$$

де m – показник степеня, що залежить від властивостей матеріалу розраховується монолітного шару (Додаток 3, табл. П.3.1 ВБН В.2.3-218-186);

α – коефіцієнт, що враховує відмінність в реальному і лабораторному режимах розтягування повторним навантаженням, а також ймовірність збігу в часі розрахункової (низької) температури покриття і розрахункового стану ґрунту робочого шару по вологості (Додаток 3, табл. П. 3.1 ВБН В.2.3-218-186).

$\sum N_p^{0,1+600}$ – розрахункове еквівалентне сумарне число прикладань розрахункового навантаження як з тривалістю дії 0,1 с, так і 600 с за термін служби асфальтобетонного покриття, визначають за формулою:

$$\sum N_p^{0,1+600} = \delta_{600} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{0,1+600} + (1 - \delta_{600}) \sum N_p, \quad (4.12)$$

де $\sum N_p$ – розрахункове сумарне число додатків розрахункового навантаження за термін служби монолітного покриття, яке визначається відповідно до ВБН В.2.3-218-186;

δ_{600} – частка від загальної кількості автомобілів в потоці, затриманих у залізничних переїздах (визначається на основі техніко-економічних досліджень при визначенні інтенсивності і складу руху);

$\beta_{0,1+600}$ – коефіцієнт, що відображає вплив на втомне руйнування розрахункового навантаження з тривалістю дії 600 с, визначається за формулою:

$$\beta_{0,1+600} = \left(\frac{R_0^{0,1} \cdot \sigma_r^{600}}{R_0^{600} \cdot \sigma_r^{0,1}} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (4.13)$$

де R_0^{600} – нормативне значення граничного опору розтяг (міцність) при вигині при розрахунковій низькій весняній температурі і при одноразовому прикладанні навантаження як при тривалості дії 0,1 с, так і 600 с;

σ_r^{600} – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 600 с.

Розрахункове розтягуюче навантаження σ_r^{600} при тривалості дії навантаження 600 с визначають за формулою:

$$\sigma_r^{600} = \bar{\sigma}_r^{600} \cdot p \cdot \kappa_\epsilon, \quad (4.14)$$

де $\bar{\sigma}_r^{600}$ – розтяжне напруження при тривалості дії 600 с від одиничної навантаження, при розрахункових діаметрах площі, що передає навантаження (таблиця 1.2 ВБН В.2.3-218-186), визначається за номограмою рис. 3.4 ВБН В.2.3-218-186 (модулі пружності для асфальтобетону встановлюють по таблиці 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186 і з урахуванням коефіцієнтів для перерахунку значення модуля пружності при тривалості дії навантаження відповідно до таблиць 3.2 - 3.9);

κ_ϵ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\epsilon = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, який встановлюється згідно таблиці П 1.1 ВБН В.2.3-218-186.

При розрахунку дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності на підходах до перетину із залізничними коліями, при рівні завантаження рухом більше 0,7 с, тривалістю дії навантажень 1,0 с і 600 с по критерію опору втомного руйнування від розтягування при вигині, що

викликають горизонтальні розтягуючі нормальні напруження під дією повторних короткочасних навантажень не повинні протягом заданого терміну служби призводити до утворення тріщин від втомного руйнування. Для цього має бути забезпечено умова:

$$\sigma_r^{1,0} < \frac{R_N^{1,0+600}}{K_{np}^{mp}}, \quad (4.15)$$

де K_{np}^{mp} – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (таблиця 3.1 ВБН В.2.3-218-186);

$R_N^{1,0+600}$ – міцність матеріалу шару на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 1 з і 600 с;

$\sigma_r^{1,0}$ – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 1 с.

Розрахункове розтягуюче $\sigma_r^{1,0}$ напруження визначається за формулою:

$$\sigma_r^{1,0} = \bar{\sigma}_r^{1,0} \cdot p \cdot \kappa_\epsilon, \quad (4.16)$$

де $\bar{\sigma}_r^{1,0}$ – розтягуючу напруження при тривалості дії навантаження 1 с від одиничного навантаження при розрахункових діаметрах площі, що передає навантаження (таблиця 1.2), визначається за номограми рисунка 3.4 ОДН218.046-01 (модулі пружності для асфальтобетону встановлюють по таблиці 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186 і з урахуванням коефіцієнтів для перерахунку значення модуля пружності при тривалості дії навантаження відповідно до таблиць 3.2 - 3.9);

κ_ϵ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_\epsilon = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, встановлюється відповідно таблиці П 1.1 ВБН В.2.3-218-186.

Міцність матеріального шару $R_N^{1,0+600}$ на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії 1,0 с і 600 с визначають за формулою:

$$R_N^{1,0+600} = R_o^{1,0} k_1^{1,0+600} k_2 (1 - v_R \cdot t), \quad (4.17)$$

де $k_1^{1,0+600}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності внаслідок втомних явищ при багаторазовому прикладанні навантаження;

k_2 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від впливу погодно-кліматичних факторів (таблиця 3.6 ВБН В.2.3-218-186);

v_R – коефіцієнт варіації міцності на розтяг (Додаток 4 ВБН В.2.3-218-186);

t – коефіцієнт нормативного відхилення (Додаток 4 ВБН В.2.3-218-186).

Коефіцієнт $k_1^{1,0+600}$, що відображає вплив на міцність втомних процесів, обчислюють за виразом:

$$k_1^{1,0+600} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{1,0+600}}}, \quad (4.18)$$

де m – показник степеня, що залежить від властивостей матеріалу монолітного шару, що розраховується (Додаток 3, табл. П.3.1 ВБН В.2.3-218-186);

α – коефіцієнт, що враховує відмінність в реальному і лабораторному режимах розтягування повторним навантаженням, а також ймовірність збігу в часі розрахункової (низької) температури покриття і розрахункового стану ґрунту робочого шару по вологості (Додаток 3, табл. П.3.1 ВБН В.2.3-218-186).

$\sum N_p^{1,0+600}$ – розрахункове еквівалентне сумарне число прикладань розрахункового навантаження як з тривалістю дії 1,0 с, так і 600 с за термін служби асфальтобетонного покриття, визначають за формулою:

$$\Sigma N_p^{1,0+600} = \delta_{600} \cdot \Sigma N_p \cdot \beta_{1,0+600} + (1 - \delta_{600}) \cdot \Sigma N_p, \quad (4.19)$$

де ΣN_p – розрахункове сумарне число прикладань розрахункового навантаження за термін служби монолітного покриття, яке визначається відповідно до ВБН В.2.3-218-186;

δ_{600} – частка від загальної кількості автомобілів в потоці, затриманих у залізничних переїздах (визначається на основі техніко-економічних досліджень при визначенні інтенсивності і складу руху);

$\beta_{1,0+600}$ – коефіцієнт, що відображає вплив на втомне руйнування розрахункового навантаження з тривалістю дії 600 с, визначається за формулою:

$$\beta_{1,0+600} = \left(\frac{R_0^{0,1} \cdot \sigma_r^{600}}{R_0^{600} \cdot \sigma_r^{0,1}} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (4.20)$$

де R_0^{600} – нормативне значення граничного опору розтягу (міцність) при вигині при розрахунковій низькій весняній температурі і при одноразовому прикладанні навантаження при тривалості дії 600 с, визначається за таблицею 3.1 ВБН В.2.3-218-186;

σ_r^{600} – найбільше розтягуюче напруження в розглянутому шарі при тривалості дії навантаження 600 с, визначається за формулою (4.21).

$$\sigma_r^{600} = \bar{\sigma}_r^{600} \cdot p \cdot \kappa_s, \quad (4.21)$$

де $\bar{\sigma}_r^{600}$ – розтягуюче напруження при тривалості дії 600 с від одиничного навантаження, при розрахункових діаметрах площі (таблиця 1.2), що визначається за номограмою рисунка 3.4 ВБН В.2.3-218-186 (Модулі пружності для асфальтобетону встановлюють по таблиці 3.1, а для інших матеріалів і ґрунту земляного полотна на підставі табличних даних ВБН В.2.3-218-186 і з

урахуванням коефіцієнтів для перерахунку значення модуля пружності при тривалості дії навантаження відповідно до таблиць 3.2 - 3.9);

κ_e – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття конструкції під двосхилим колесом. Приймають рівним 0,85 (при розрахунку під односхилим колесом $\kappa_e = 1,00$);

p – розрахунковий тиск, який встановлюється згідно таблиці П 1.1 ВБН В.2.3-218-186.

4.2. Методика розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону

Найбільш поширеними в конструкціях дорожнього одягу є асфальтобетонні шари. У верхній частині вони виконують функції покриття, у нижній частині – функції основи. В асфальтобетонних шарах, розташованих в основі конструкції дорожнього одягу, при дії транспортних навантажень, у більшості випадків, виникають горизонтальні нормальні розтягуючі напруження (рис. 4.1), що викликають небезпеку утворення тріщин.

Згідно методики ВБН В.2.3-218-186 вимагається щоб горизонтальні нормальні розтягуючі напруження в монолітних шарах дорожнього одягу, що виникають від дії повторних короточасних транспортних навантажень (рис. 4.2), були меншими за гранично допустимі розтягуючі напруження матеріалу шару i , як наслідок, не повинні викликати порушення і руйнування структури матеріалу, тобто повинна забезпечуватись умова:

$$K_{мц} \leq \frac{R_{зг}}{\sigma_{\text{розтяг}}^{\text{тах}}}, \quad (4.22)$$

де $K_{мц}$ – коефіцієнт міцності з врахуванням заданого рівня надійності;

$R_{зг}$ – гранично допустимі розтягуючі напруження матеріалу шару;

$\sigma_{\text{розтяг}}^{\text{тах}}$ – найбільше розтягуюче напруження в шарі, що виникає від дії навантаження.

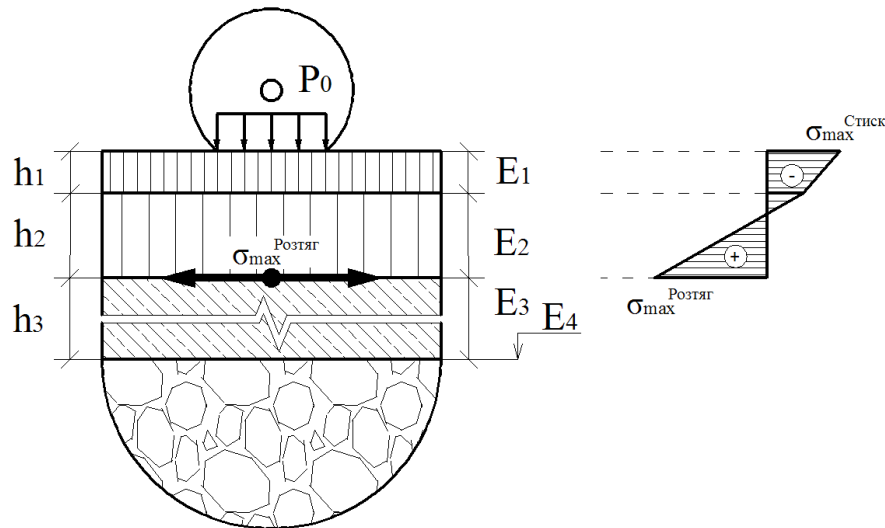


Рисунок 4.2 – Схема роботи асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком в конструкції дорожнього одягу на розтяг при дії транспортного навантаження

Для виконання розрахунків застосовують розрахункові характеристики Z . До розрахункових характеристик Z відносять: $E(t, T)$, $R_p(t, T)$, m – відповідно модуль пружності, міцність на розтяг та показник втоми, що визначають при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ з урахування часу дії навантаження $0,1\text{ с}$.

Згідно ВБН В.2.3-218-186, ВБН В.2.3-218-544 та [54-56] опірність асфальтобетону дії горизонтальних розтягуючих напружень підвищують за рахунок використання армуючих прошарків.

Армуючі матеріали, що передбачені для влаштування армуючих прошарків повинні відповідати вимогам згідно ВБН В.2.3-218-544.

Згідно з методикою ВБН В.2.3-218-186 розрахунки асфальтобетонних шарів з армуючими прошарками здійснюють за допомогою номограми для розрахункової схеми конструкції дорожнього одягу у вигляді трьохшарового напівпростору (рис. 4.3).

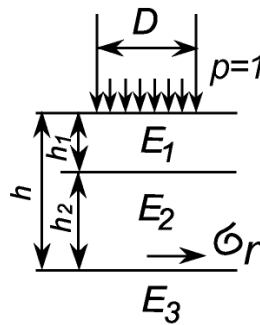


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема конструкції дорожнього одягу для визначення горизонтального нормального розтягуючого напруження $\bar{\sigma}_r$ у шарах армованого асфальтобетону

Для здійснення розрахунку дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами і армуючими прошарками виконують процедуру приведення фактичної конструкції дорожнього одягу до розрахункової моделі в наступній послідовності:

- виконують конструювання дорожнього одягу з застосуванням асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком згідно чинних нормативних документів за загальною схемою, що наведена на рис. 4.4;

- призначають розрахункові характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу ($E(t, T)$, $R_p(t, T)$, m) та їх товщини і розрахункові характеристики ґрунту земляного полотна (E_{gr} , ϕ_{gr} , C_{gr});

- виконують заміну товщини частини асфальтобетонних шарів, між якими розташований армуючий матеріал, товщиною еквівалентного шару (рис. 4.5). Розрахункові характеристики Z_e еквівалентного шару встановлюються на основі результатів випробувань асфальтобетону з армуючим прошарком як усереднене значення розрахункових характеристик прилеглої зони до армуючого прошарку асфальтобетонного шару, що знаходиться над прошарком (Z_{θ}^a) та відповідно асфальтобетонного шару, що знаходиться під прошарком (Z_n^a).

$$Z_e = \frac{Z_{\theta}^a h_{\theta}^a + Z_n^a h_n^a}{h_{\theta}^a + h_n^a}, \quad (4.23)$$

де Z_e – розрахункова характеристика еквівалентного шару;
 Z_g^a, Z_n^a – відповідно розрахункова характеристика асфальтобетонного шару над армуючим прошарком та під ним;
 h_g^a, h_n^a – відповідно товщина асфальтобетонного шару над армуючим прошарком та під ним.

- приводять отриману конструкцію дорожнього одягу (рис. 4.5) до загальної розрахункової схеми (рис. 4.6) згідно з чинними нормативними документами.

Товщина еквівалентного шару (h^a) рівна сумі товщин зони армування відповідно для асфальтобетонного шару, що розташований над (h_g^a) і під (h_n^a) армуючим прошарком:

$$h^a = h_g^a + h_n^a, \quad (4.24)$$

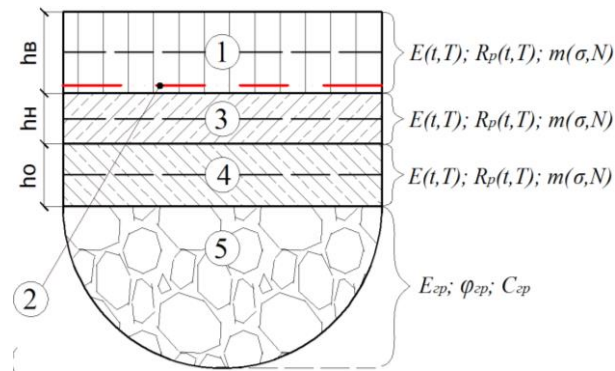
$$\text{де } h_g^a = 1,5 d_g^{\max};$$

$$h_n^a = 1,5 d_n^{\max};$$

$d_g^{\max}, d_n^{\max}$ – відповідно максимальний розмір щебеню асфальтобетону в шарі над армуючим прошарком та під ним.

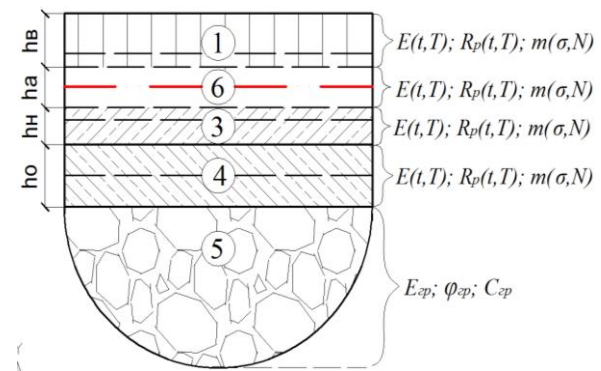
Для здійснення розрахунків конструкції дорожнього одягу, що містить асфальтобетонні шари з армуючим прошарком, необхідно мати розрахункові характеристики (згідно 4.2-4.7 СОУ 45.2-00018112-076) еквівалентного шару, що встановлюються за допомогою виразу 4.22. Для цього необхідно використати значення розрахункових характеристик асфальтобетонних шарів в зоні армування. Дані розрахункові характеристики встановлюються експериментально за методом цього стандарту.

Суть даного методу полягає у тому, що асфальтобетонна суміш при виготовленні даних зразків ущільнюється методом укочення (СОУ 45.02-00018112-020) або іншими методами, що створюють вплив на армуючий матеріал, подібний впливу при ущільненні асфальтобетонної суміші у виробничих умовах.



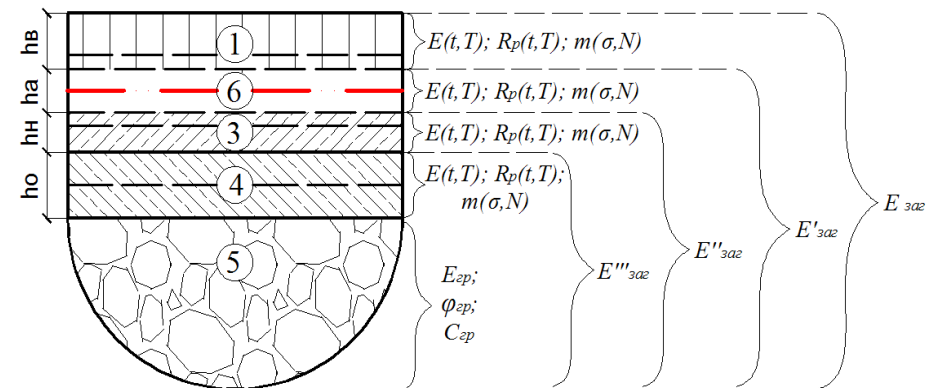
1 – асфальтобетонний шар (або декілька шарів), розташований над армуючим прошарком; 2 – армуючий прошарок; 3 – асфальтобетонний шар (або декілька шарів), розташований під армуючим прошарком; 4 – шари основи та (або) додаткової основи; 5 – ґрунт земляного полотна; 6 – еквівалентний шар; h_b – товщина шару (шарів), розташованого над армуючим прошарком; h_n – товщина шару (шарів), розташованого під армуючим прошарком; h_o – товщина шару (шарів) основи та (або) додаткової основи; $E(t, T)$, $R_p(t, T)$, m – розрахункові характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу; $E_{гр}$, $\phi_{гр}$, $C_{гр}$ – розрахункові характеристики ґрунту земляного полотна

Рисунок 4.4 – Конструкція дорожнього одягу з застосуванням армуючого прошарку



Умовні позначення такі ж, як і на рис. 4.4.

Рисунок 4.5 – Конструкція дорожнього одягу, де асфальтобетонні шари, між якими розташований армуючий матеріал, заміні еквівалентним шаром



Умовні позначення такі ж, як і на рис. 4.4.

Рисунок 4.6 – Конструкція дорожнього одягу з армуючим прошарком, приведена до розрахункової моделі

Для оцінки армуючого ефекту даного виду армуючого матеріалу на даний склад асфальтобетону, що випробовуються, виготовляються зразки, які мають з двох сторін армуючого матеріалу (армуючого прошарку) асфальтобетон одного і того ж складу. Товщина асфальтобетонних зразків приймається такою, що відповідає мінімально допустимим товщинам асфальтобетонних шарів згідно ДБН В.2.3-4. Для випробування із заформованих асфальтобетонних плит з армуючим матеріалом за допомогою каменерізного станка виготовляються зразки, товщина яких відповідає товщині зони армування даного складу асфальтобетону в залежності від крупності заповнювача ($h^a = 1,5d^{max}$; де d^{max} – максимальний розмір мінеральних матеріалів асфальтобетону). Встановлені розрахункові характеристики, відповідно до методики цього стандарту, використовують при розрахунках за критерієм міцності на розтяг (згідно ВБН В.2.3-218-186) асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком з урахуванням схеми приведення фактичної конструкції дорожнього одягу до розрахункової схеми відповідно до п.п. 4.2-4.7 СОУ 45.2-00018112-076.

При визначенні розрахункових характеристик асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком застосовують схему випробування зразків, що передбачає прикладання до зразка розтягуючих зусиль уздовж напрямку армування асфальтобетону, для забезпечення відповідності умов роботи армованого асфальтобетону на розтяг в конструкції дорожнього одягу (рис. 4.2).

Для асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком стосовно кожного конкретного об'єкту встановлюють розрахункові характеристики безпосередньо для тих матеріалів, що передбачені проектом.

Для визначення розрахункових характеристик асфальтобетонних шарів з армуючими прошарками застосовують ті матеріали та технології, що забезпечують необхідне зчеплення між асфальтобетонними шарами. Оцінку якості зчеплення між шарами здійснюють згідно СОУ 45.2-00018112-046. У разі отриманих незадовільних результатів по забезпеченню зчеплення між асфальтобетонними шарами з застосуванням армуючого матеріалу, що випробовується, необхідно внести корективи в параметри технології

влаштування армуючого матеріалу між асфальтобетонними шарами або застосувати інший армуючий матеріал чи інші заходи для забезпечення зчеплення між шарами.

4.3 Дослідження впливу температурних швів з підкріпленням та товщини покриття на напружено-деформованого стан асфальтобетонних шарів підсилення

Однією із основних причин появи поперечних тріщин у верхньому шарі дорожнього покриття в зимовий час являються температурні розтягуючі напруження в поздовжньому напрямі дороги. Вони викликані тим, що при низьких температурах верхні шари дороги намагаються зменшити свою довжину, проте через практично нескінченну довжину не можуть це здійснити і в верхньому шарі виникають поперечні неупорядковані тріщини, які внаслідок дії транспортних навантажень і сил від води, що замерзла, призводять до подальшого розшарування і руйнування дорожньої конструкції (рис. 4.7).

Для виключення цього ефекту в верхній шар покриття з визначеним кроком доцільно робити поперечні штучні розрізи (рис. 4.8), які дозволяють вільно укорочуватися і подовжуватися верхньому шару та знімати виникаючі в ньому поздовжні термонапруження. В той же час такі розрізи знижують загальну згинальну жорсткість конструкції, сприяючи концентрації нормальних і дотичних напружень в розглянутій зоні під дією транспортних навантажень. Для зняття цих додаткових напружень, також сприяючих подальшому руйнуванню конструкції, запропоновано безпосередньо під розрізом вводити в другий шар підкріплюючу плиту, виконану із більш жорсткого і міцного матеріалу, який здатний сприймати підвищені напруження (рис. 4.9). В зв'язку з тим, що ця плита розміщена в зоні концентрації напружень, ці напруження стають менше небезпечними.

Виконано скінченно-елементне дослідження перебудови напружень для випадку, коли транспортне навантаження інтенсивністю p розташоване асиметрично з однієї сторони розрізу (рис. 4.7 – 4.8). Вибрані плити різної геометрії і ширини. Розглядались принципові сторони питання про

підкріплення конструкції, тому задача розв'язувалася в постановці плоского напруженого стану. Для розрахунку виділена трьохшарова конструкція (рис. 4.9 а) довжиною 5 м і з товщинами верхніх шарів $h_1=0,23$ м, $h_2=0,22$ м, $h_3=1$ м. Ширина зазору складає 0,03 м. Властивості матеріалів шарів наведені у таблиці 4.1.

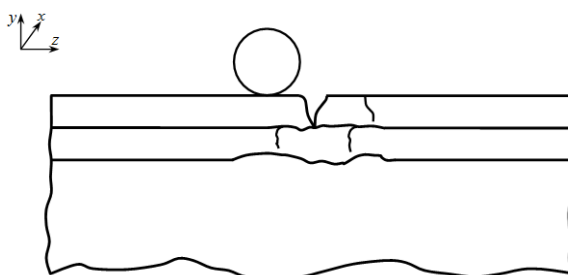


Рисунок 4.7 – Схема природного введення тріщин у верхній шар покриття

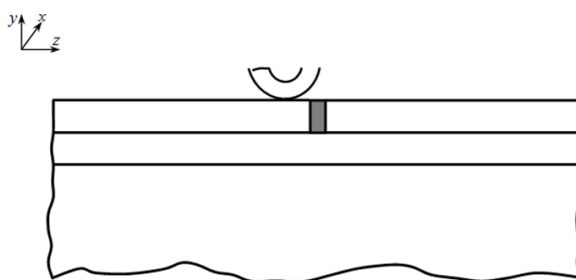


Рисунок 4.8 – Схема штучного введення тріщин у верхній шар покриття

Таблиця 4.1 – Властивості матеріалів шарів

Номер шару	Матеріал	Товщина (м)	E (Па)	ν
1	Асфальтобетон дрібнозернистий	0,23	$3 \cdot 10^{10}$	0,25
2	Асфальтобетон крупнозернистий	0,22	$2,4 \cdot 10^9$	0,3
3	Грунт	1,0	10^8	0,35

Транспортне навантаження інтенсивністю $P=800000$ Па розподілене на ділянці шириною 0,6 м.

Моделювання виділеного зазору здійснювалося шляхом прикладання умов вільного краю на його берегах. На площинах контакту шарів покриття і підкріплюючих плит записувалися умови неперервності переміщень.

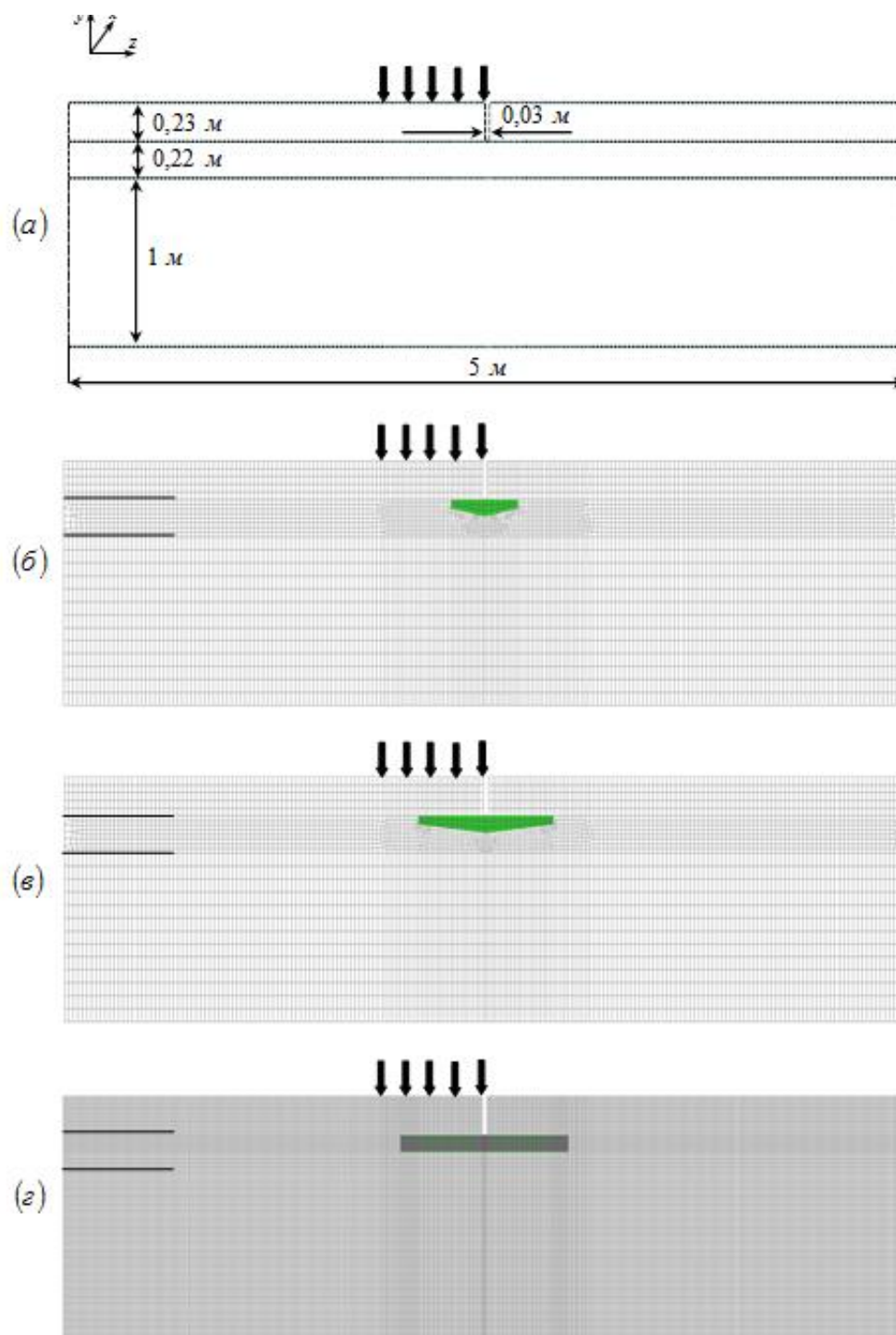


Рисунок 4.9 – Геометричні схеми дорожнього покриття з тріщиною, яка підкріплена плитою: а – вихідна геометрія; б – випадок 1; в– випадок 2; г– випадок 3

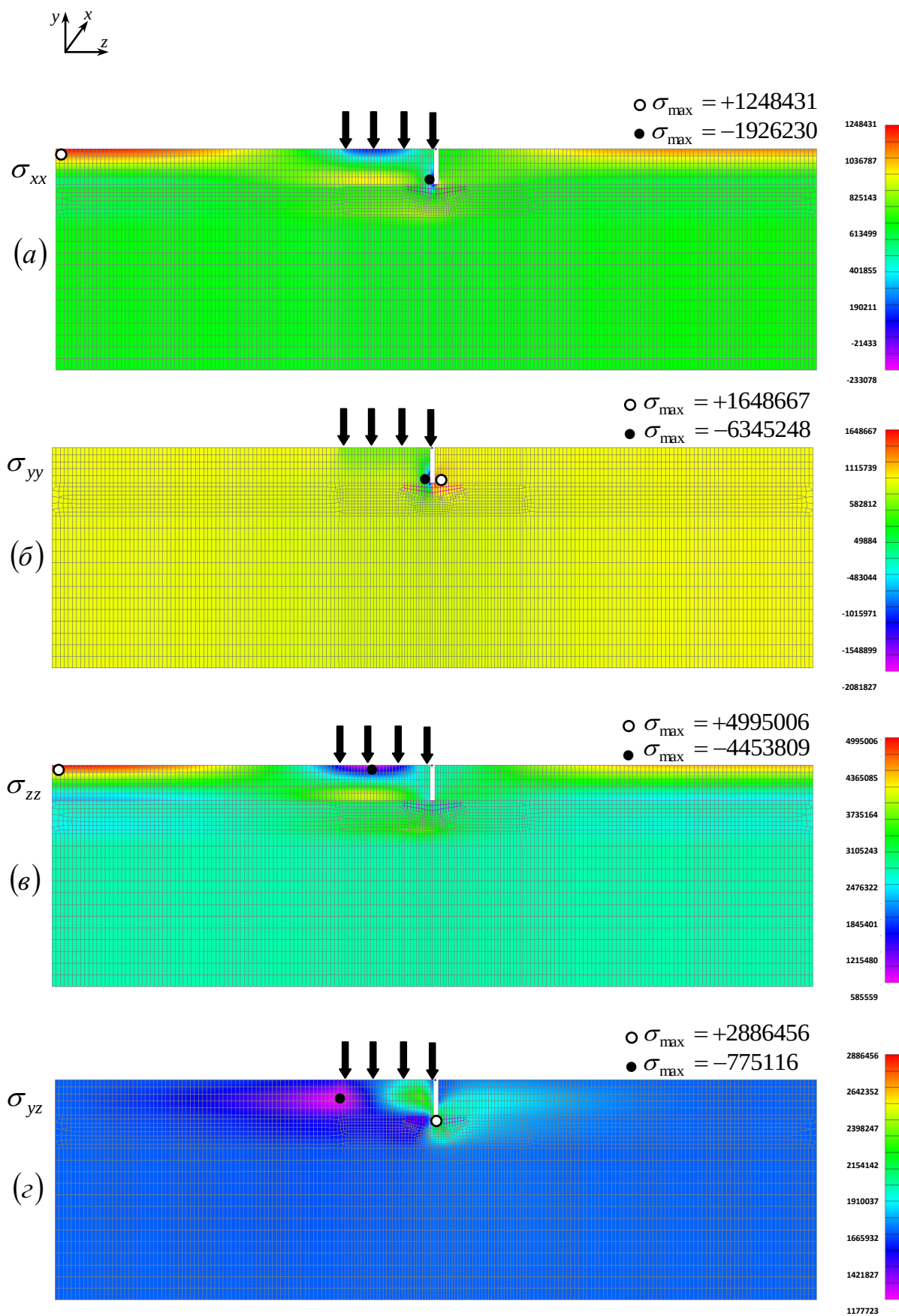


Рисунок 4.10 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в), σ_{yz} (г) в перерізі невідкріпленої дороги (випадок 1)

Спочатку було виконано розрахунок конструкції без розрізу. Він показав, що під вибраним навантаженням найбільші розтягуючі напруження реалізуються на вільній поверхні покриття і складають $\sigma_{zz} = 1372618$ Па, найбільші за модулем стискаючі напруження σ_{yy} мають місце в нижній точці розриву й дорівнюють $\sigma_{yy} = -804151$ Па.

Дослідження проведене методом скінченних прямокутних елементів. В поздовжньому напрямі (вздовж координати z) конструкція розбилась на 186 скінченних елементів, при цьому перший шар за товщиною розбивався на 5 скінченних елементів, другий – на 8 скінченних елементів і третій – на 13 скінченних елементів. Для такої дискретизації загальне число скінченних елементів склало 10940, вузлів – 17091, шуканих змінних – 924.

Потім на тій же скінченно-елементній сітці проаналізовано напружено-деформований стан конструкції з зазором (рис. 4.9 а). На рис. 4.10, а-г в кольоровому зображенні показані, відповідно, поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г). Можна помітити, що тут напруження суттєво збільшилися.

На них кожному відтінку кольорової палітри відповідає певне значення відповідного напруження, величина якого подана справа на кольоровій шкалі. Максимальне (за модулем) значення цих величин наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Екстремальні значення розрахункових напружень

П/п	Розрахункова величина	$\sigma_{екстр}$ (розт.) Па	$\sigma_{екстр}$ (стис.) Па
1	σ_{xx}	1248431	1926230
2	σ_{yy}	1648667	6345248
3	σ_{zz}	4995006	4453809
4	σ_{yz}	2886456	75116

Місця локалізації цих напружень позначені на рис. 4.10 кружечками. Незалиті кружечки відносяться до напружень розтягу, залиті – до напружень стиску.

Представляє інтерес прослідкувати за характером цих функцій в найбільш характерних перерізах. На рис. 4.11 показані графіки зміни функцій $\sigma_{zz}(z)$ і $\sigma_{yz}(z)$ в верхньому скінченно-елементному ряду другого шару непідкріпленої конструкції з розрізом. Їх аналіз підтверджує, що введення розрізу приводить до суттєвої концентрації напружень у його околі і доцільності введення підкріплення в цій зоні.

На рис. 4.12 показані графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду, що віддалений своєю нижньою стороною на 0,1 м від границі між першим і другим рядом. Відзначимо, що цей переріз проходить через нижню площину підкріплюючої плити, яка представлена на рис. 4.13 (г). На рис. 4.13 а-г представлені графіки цих же функцій в скінченно-елементному ряду, прилягаючий до ряду, який описаний на рис. 4.12. Як видно, функції напружень тут мають пікові значення.

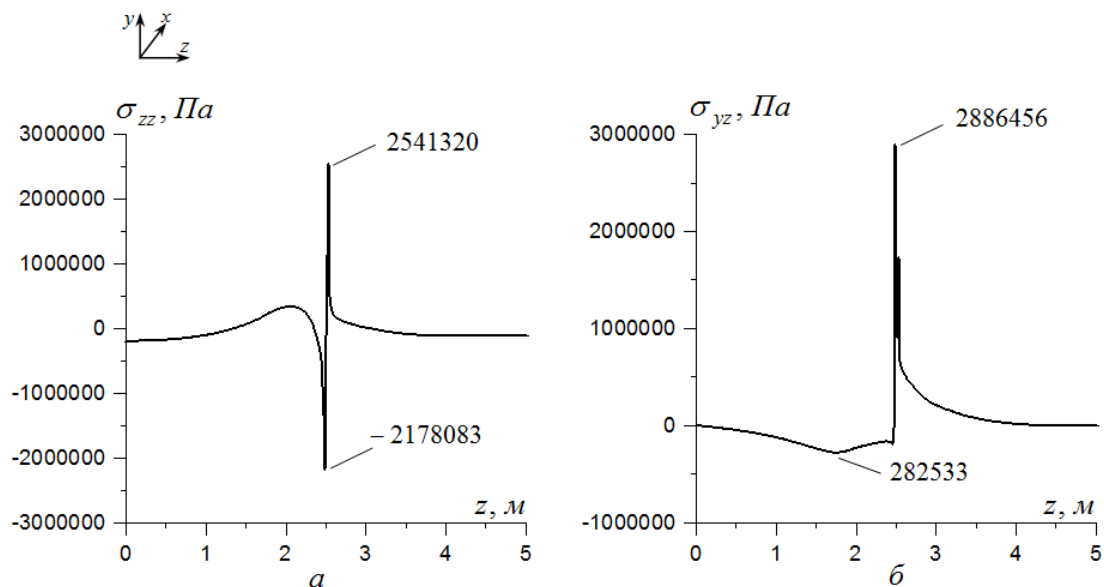


Рисунок 4.11 – Графіки розподілу функцій $\sigma_{zz}(z)$ (а) і $\sigma_{yz}(z)$ (б) в верхньому скінченно-елементному ряду другого шару непідкріпленої конструкції з розрізом

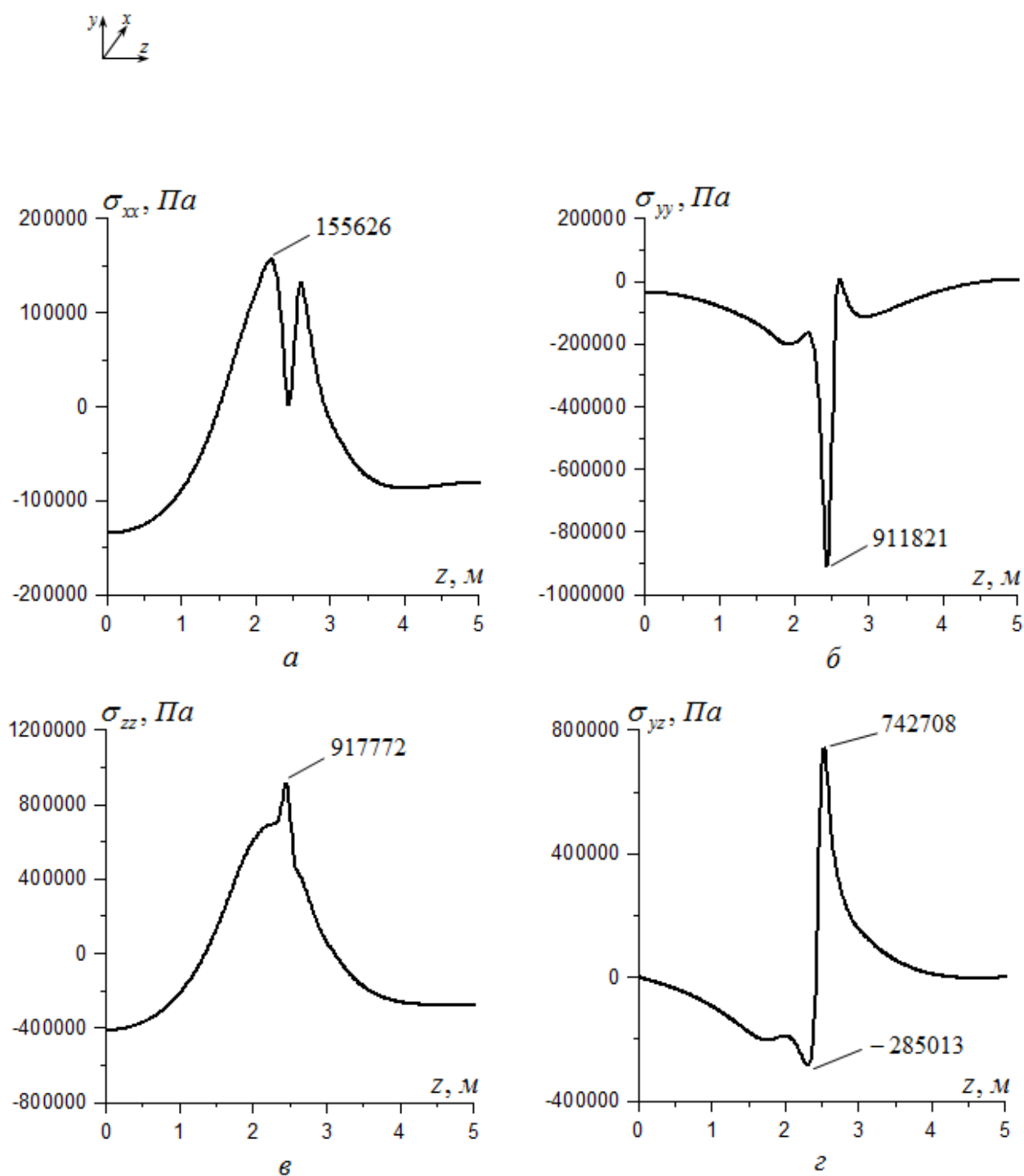


Рисунок 4.12 – Графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду другого шару, що віддалений своєю нижньою стороною на 0,1 м від границі розділу між першим і другим шарами непідкріпленої конструкції з розрізом

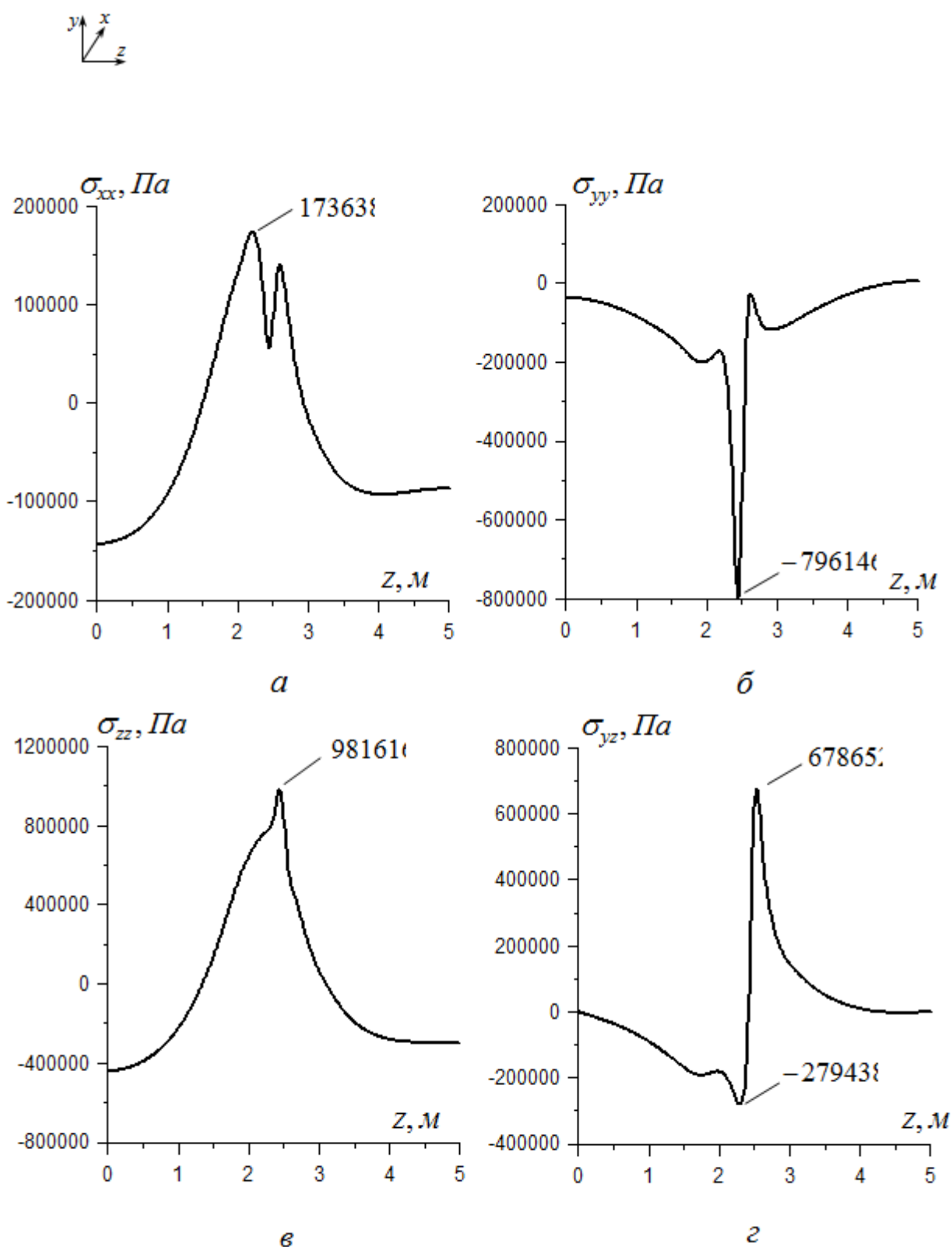


Рисунок 4.13 – Графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду другого шару, що віддалений своєю верхньою стороною на 0,1 м від границі розділу між першим і другим шарами не підкріплюючої конструкції з розрізом

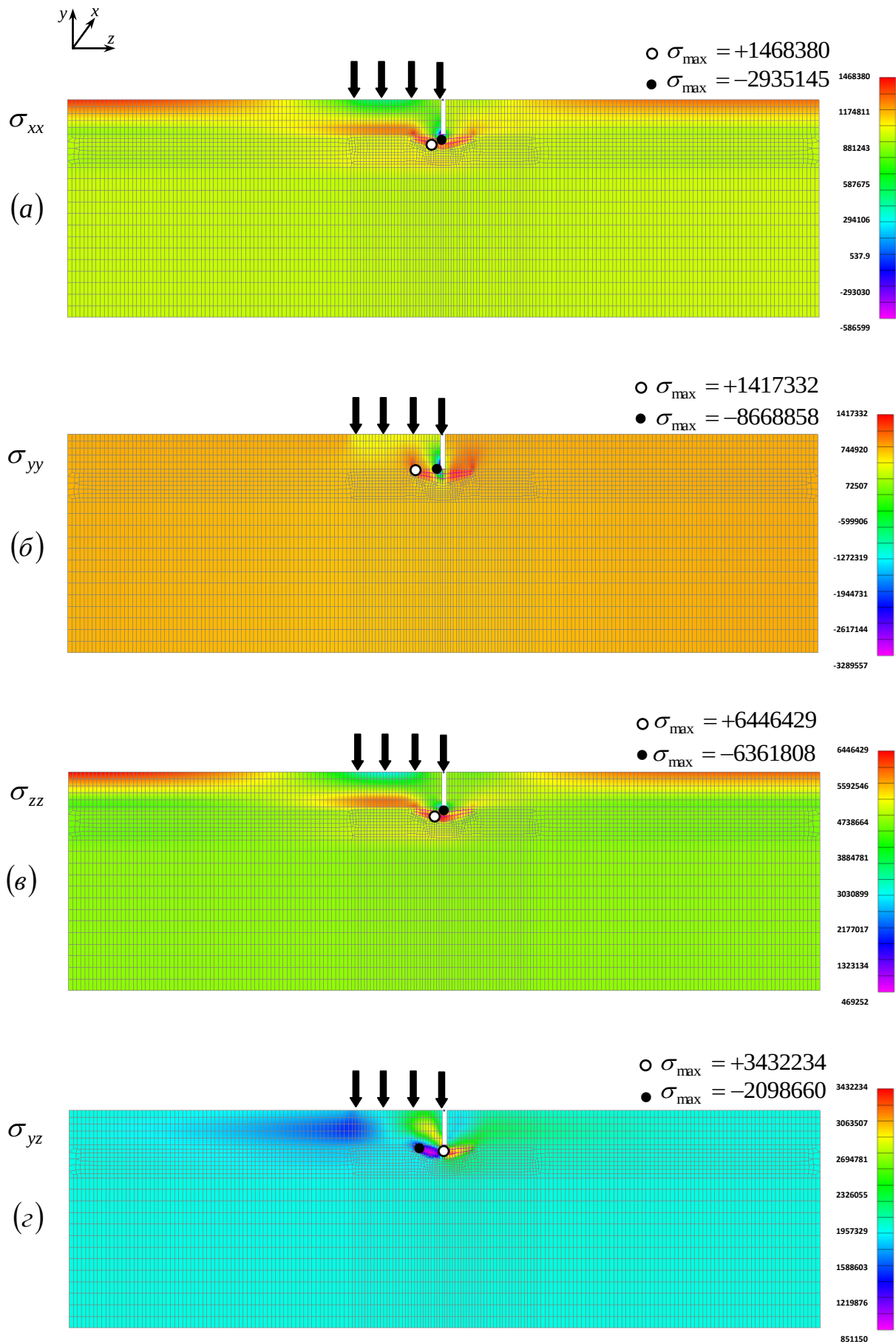


Рисунок 4.14 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою (випадок 1, $E = 10^{10}$ Па)

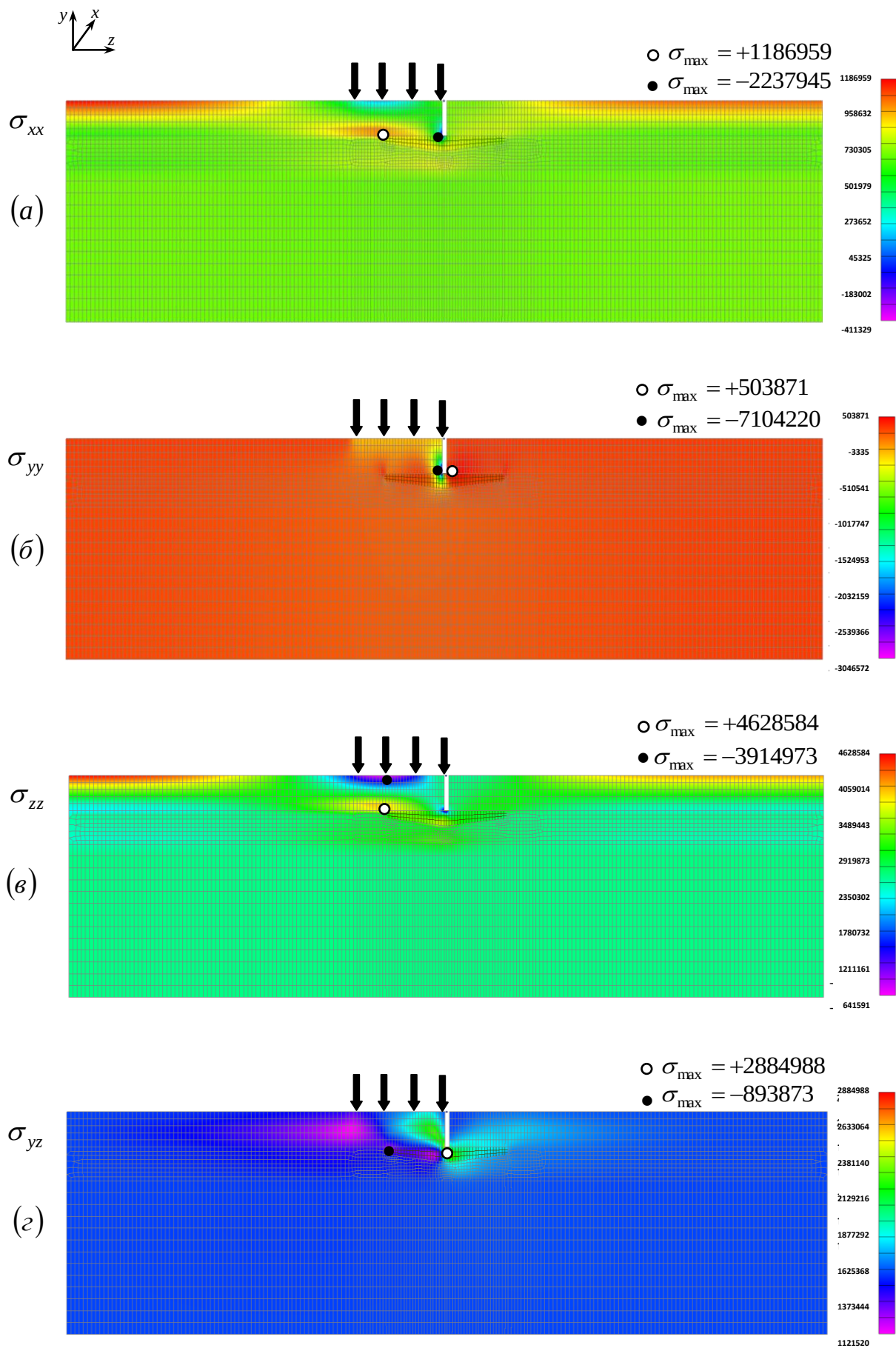


Рисунок 4.15 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою (випадок 2, $E = 10^{10}$ Па)

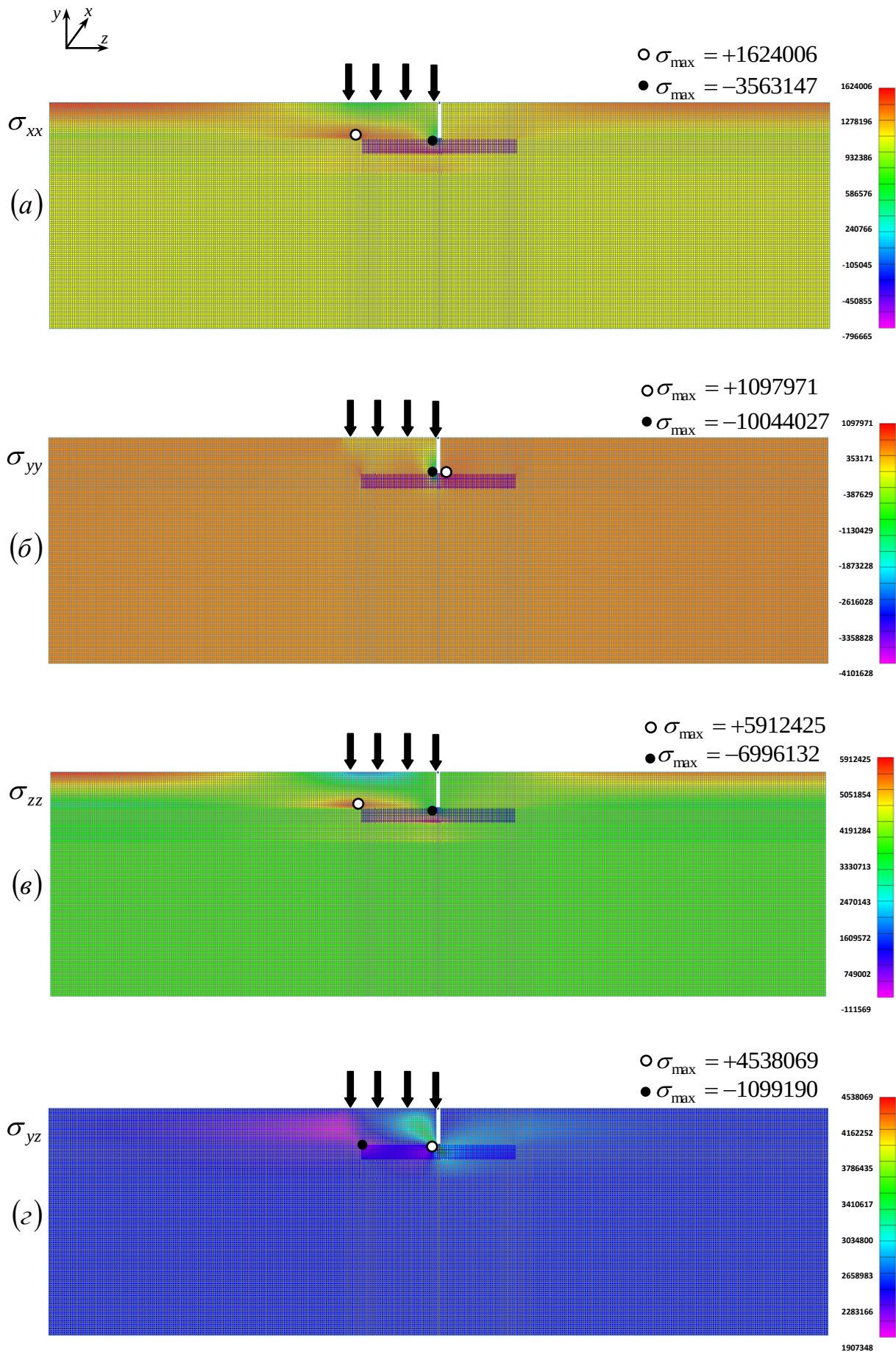


Рисунок 4.16 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою (випадок 3, $E = 10^{10}$ Па)

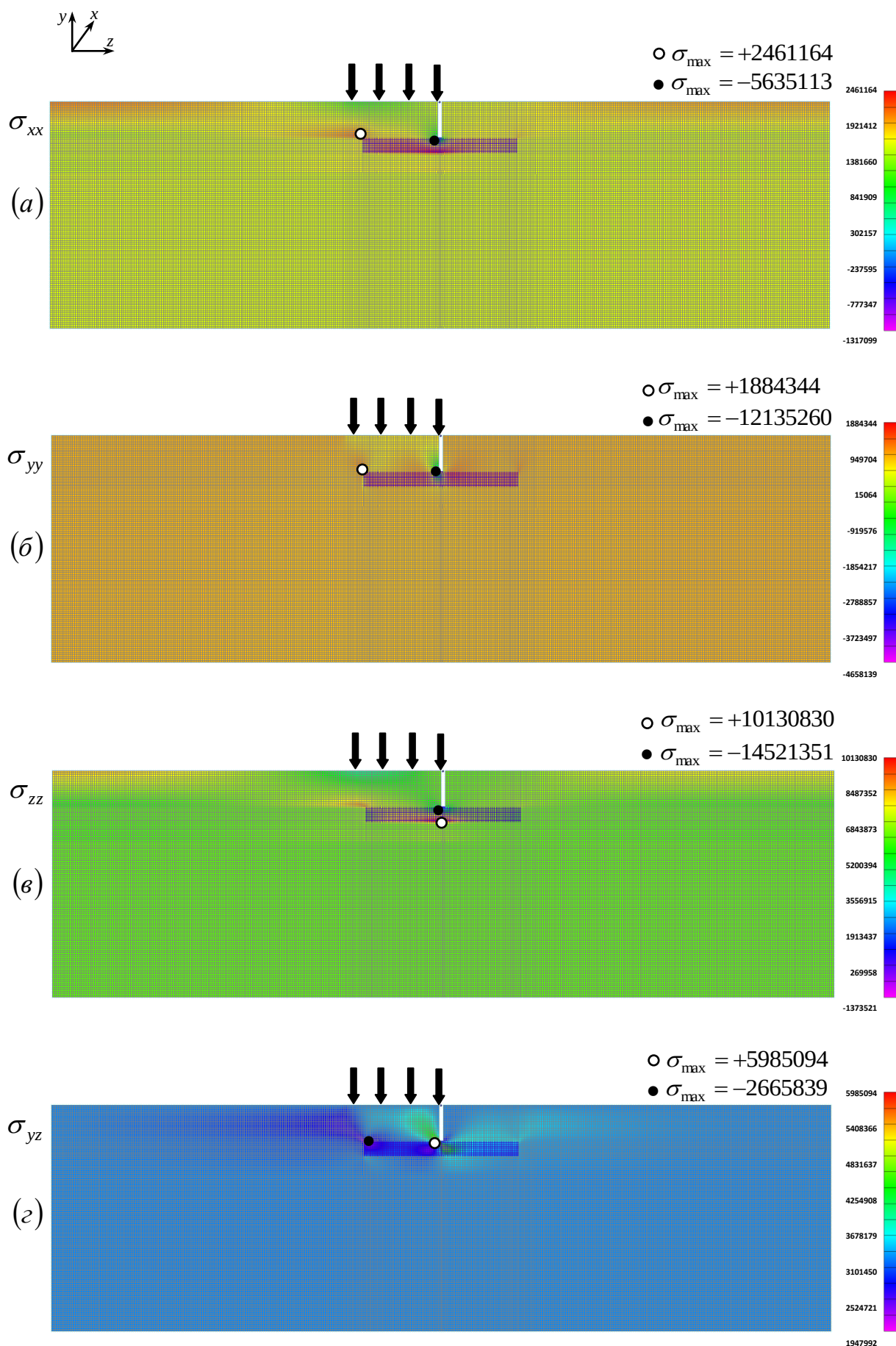


Рисунок 4.17 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою (випадок 3, $E = 3 \cdot 10^{10}$ Па)

Для зменшення рівня напружень в зоні найбільших напружень (безпосередньо під розрізом) вводяться підкріплюючі плити шириною 0,4 м, 0,8 м і 1 м (рис. 4.9 б, в, г) з підвищеними значеннями модуля пружності $E = 10^{10}$ Па і $3 \cdot 10^{10}$ Па. На рис. 4.14 і 4.15 показані поля напружень для випадків 1 і 2, відповідно, представлених на рис. 4.9, при $E = 10^{10}$ Па. Із них випливає, що максимальні значення напружень збільшилися, проте вони сформулювалися в тілі підкріплюючої плити. В масиві шаруватого асфальтобетонного покриття вони зменшилися.

Перебудова напружено-деформованого стану має місце помітніше зі збільшенням розмірів підкріплюючої плити. На рис. 4.16 і 4.17 показані поля напружень $\sigma_{xx}(z)$, $\sigma_{yy}(z)$, $\sigma_{zz}(z)$, $\sigma_{yz}(z)$ для випадків підкріплення дорожньої конструкції прямокутною плитою шириною 1 м і товщиною 0,1 м. Рис. 4.16 відповідає плиті з модулем пружності $E = 10^{10}$ Па, рис. 4.17 – плиті з модулем пружності $E = 3 \cdot 10^{10}$ Па. Як видно, порівняно з випадком непідкріпленої конструкції (рис. 4.10) максимальні значення напружень практично не змінили своїх величини, а деякі навіть збільшилися. Проте при цьому максимальні напруження змістилися у внутрішню зону тіла плити, що не є небезпечним, так як матеріал плити є більш міцним порівняно з матеріалами шарів.

4.4. Соціально-економічна ефективність дисертаційних досліджень

Отримані результати дисертаційних досліджень дають можливість направлено регулювати довговічність асфальтобетонних шарів підсилення за рахунок вибору раціональних конструктивних рішень та технології їх реалізації, виходячи із отриманих аналітичних залежностей (розділ 2). Це дозволяє прогнозувати час до тріщиноутворення в результаті вичерпування міри довговічності цих шарів по всій товщині. Тобто, на основі визначення терміну служби конструкції дорожнього одягу до моменту її руйнування за критерієм граничного стану міцності монолітних шарів при поділі їх на частини, дає можливість оцінювати їх ефективність конструктивно-технологічних параметрів на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення. Саме використання прогнозованого терміну служби асфальтобетонних шарів

підсилення дає можливість більш точно визначати соціально-економічну ефективність капіталовкладень у ремонтні заходи автомобільних доріг [37,107].

Згідно МР Г.1-37641918-890 економічний ефект від здійснення капітальних вкладень в автомобільні дороги, обумовлений впливом конкретних змін в стані дорожньої мережі, впливає на рівень витрат по перевезеннях як на автомобільному транспорті, так і на інших видах транспорту, на величину витрат поза транспортним процесом, в промисловості, сільському господарстві і будівництві, пов'язаних з недостатнім задоволенням потреб в перевезеннях. Оцінка порівняльної економічної ефективності може вестися:

а) на основі розрахунку строку окупності $T_{ок}$

$$T_{ок} = \frac{(K_2 - K_1)}{(C_1 - C_2)} < T_n \quad (4.25)$$

де K_1 і K_2 , C_1 і C_2 – відповідно капіталовкладення і річні поточні витрати з виконання робіт (річна собівартість) за порівнювальними варіантами;

T_n – нормативний строк окупності капіталовкладень, що передбачає мінімально припустиму ефективність вкладених коштів.

б) на основі розрахунку коефіцієнта порівняльної економічної ефективності додаткових капіталовкладень E_k

$$E_k = \frac{(C_1 - C_2)}{(K_2 - K_1)} > E_n \quad (4.26)$$

де E_k – коефіцієнт порівняльної економічної ефективності;

E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капіталовкладень (у будівництві і капітальному ремонті доріг він може набувати значень від 0,12 до 0,15).

Якщо в результаті розрахунку отримано: $T_{ок} < T_1$ і $E_k > E_n$, то оптимальним вважається варіант, що вимагає додаткових капіталовкладень;

Якщо в результаті розрахунку отримано: $T_{ок} > T_1$ і $E_k < E_n$, то оптимальним вважається менш капіталоемний варіант.

Показником порівняльної економічної ефективності капіталовкладень є мінімум приведених витрат – це сума поточних витрат і капіталовкладень,

приведених до однакової розмірності, відповідно до коефіцієнта економічної ефективності E_k (зазвичай даному коефіцієнту надається нормативний характер – E_n):

$$C_i + E_n \cdot K_i = \min, \quad (4.27)$$

де K_i – капіталовкладення за i -м варіантом; C_i – поточні витрати за i -м варіантом; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень. Конкретне значення даного коефіцієнта залежить від загального стану розвитку національної економіки, зокрема, від темпів інфляції, загального інвестиційного клімату, стабільної економіки тощо.

Якщо терміни здійснення одноразових витрат по варіантах не співпадають або мають багаторазовий характер, їх порівняння забезпечується приведенням витрат до одного базового моменту часу за допомогою коефіцієнта приведення $k_{ti,t0}$

$$k_{ti,t0} = (1 + E_n)^{t_0 - t_i}, \quad (4.28)$$

де $E_n = 0,8 \div 0,15$ – норматив для приведення різночасних витрат; t_0 – базовий термін (рік), до якого приводяться всі витрати; t_i – рік, коли здійснюються витрати.

Як показують наші дослідження заходи, що направлені на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг і вулиць дають можливість отримувати економічний ефект завдяки економії експлуатаційних витрат навіть при більших будівельних витратах. Так при більших будівельно-монтажних витратах на влаштування асфальтобетонних шарів підвищеної довговічності у 1,5 рази коефіцієнт економічної ефективності може становити 1,05-1,17 при збільшенні довговічності від 1,5 до 2,5 рази. У цьому випадку економічна ефективність може становити 30000 – 100000 грн/км і більше, що збігається з даними інших дослідників [92, 93].

4.5 Висновки по розділу

Розроблено заходи для практичного застосування результатів дослідження, в тому числі: рекомендації з конструювання асфальтобетонних шарів підсилення; заходи із відновлення монолітності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу після утворення температурних тріщин. Розроблено загальні положення методики розрахунку асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу з врахуванням часу дії навантаження. Представлені результати дослідження впливу влаштування температурних швів з підкріпленням та підвищення товщини покриття на напружено-деформований стан асфальтобетонних шарів підсилення. На основі цих досліджень запропоновано практичні заходи з підвищення їх довговічності. Описана соціально-економічна ефективність дисертаційних досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, що полягає у підвищенні довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу. Отримані нові наукові результати, що дозволяють підвищити точність прогнозування утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення і обґрунтовано вибір заходів для їх практичного застосування на об'єктах транспортного будівництва. Основні результати полягають у наступному:

1. Аналіз існуючих досліджень стосовно підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу дозволив узагальнити наукові підходи та практичні розробки. Встановлено, що на основі багаторічних досліджень нежорстких дорожніх одягів опираючись на фундаментальні положення теорії деформівних твердих тіл дослідниками створено досить ефективні аналітично-розрахункові методи для прогнозування напружено-деформованого стану шарів дорожнього одягу з урахуванням термопружних та термов'язкопружних властивостей матеріалів і ґрунтів. Обґрунтовано, розроблено та апробовано результативні способи підвищення довговічності шарів підсилення. Однак виконані дослідження носять розрізнений характер, що до цього часу не дозволило на єдиній методологічній основі оцінювати довговічність асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу з врахуванням сумісної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень на їх тріщиноутворення.

2. Розроблено розрахункову схему роботи асфальтобетонних шарів підсилення, що ураховує дію впливових факторів, отримані математичні моделі для температурного поля і температурного режиму та напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення при полігармонійному коливанні температури з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів. Це дозволило удосконалити математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням прогнозування кінетики розповсюдження тріщини в шарах підсилення по їх товщині.

3. На основі аналітичних залежностей, отриманих для оцінки граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення при тріщиноутворенні, з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при сумісній дії температурних напружень та горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням. Суть його новизни полягає у врахуванні дії вертикальних дотичних напружень на зменшення часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах. Цей метод дозволяє для різних варіантів конструкцій підсилення існуючого дорожнього одягу (з урахуванням історії будівництва і експлуатації та його стану) більш об'єктивно встановити час до утворення тріщин в

асфальтобетонних шарах та обґрунтовано вибрати найбільш раціональний варіант конструктивних і технологічних рішень.

4. На основі проведеного аналізу отриманих дисертантом та відомих експериментальних результатів визначення термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів проведено числовий аналіз та експериментальні випробування, що підтверджують актуальність і достовірність дисертаційних досліджень, які передбачають урахування вертикальних дотичних напружень на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення. Наприклад, проведеними дослідженнями було встановлено, що при умові коли вертикальні дотичні напруження становлять 0,3 від їх руйнівного значення, то час до руйнування зразків асфальтобетону при дії розтягуючих напружень зменшується у 2-3 рази. Застосування АСМ в шарах підсилення (особливо над тріщинами існуючої асфальтобетонної основи) дозволяє збільшити кількість транспортних навантажень до моменту появи тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення, більше ніж у 10 разів.

5. Експериментальними дослідженнями встановлено, що ефективність заходів підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу за рахунок застосування АСМ залежить від їх циклічної довговічності між асфальтобетонними шарами. Вплив пошкодженості АСМ від впливу технологічних факторів (при будівельно-монтажних роботах) і транспортних факторів (при експлуатації за високих літніх температур) зменшує їх міцнісні характеристики на 30-70 % у залежності від виду АСМ та зернового складу асфальтобетонних сумішей.

6. За результатами дисертаційних досліджень отримав подальший розвиток метод встановлення термореологічних характеристик асфальтобетону. Це дає можливість удосконалити і підвищити точність встановлення характеристик, що входять у розрахунки, і забезпечити їх достовірність.

7. Запропоновано заходи для практичного застосування результатів дослідження: розроблено методику прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення; удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які увійшли в чинні нормативні документи; розвинуто принципи раціонального конструювання асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням стану існуючого дорожнього одягу.

8. Застосування результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор); Служба автомобільних доріг в Полтавській області; КК "Київавтодор"; ДП "ДерждорНДІ"; ВАТ "Асфальтобетонний завод" та інших. Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., 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. – 2016. – Вып. 1(51). – С. 107-113.
2. Куцман О.М., Мозговой В.В. та ін. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 57. – С.77-83.
3. Куцман О.М., Лаповська С.Д., Мозговой В.В., Баран С.А. Оцінка міцності цементобетонну існуючого покриття // Будівельні матеріали та вироби: наук.-техн.збірник. – 2016. – Вип. 2-3 (92). – С. 30-34.
4. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты: научн.-техн. журнал «БелдорНИИ». –2008. – № 2. – С. 16-20.
5. Куцман О.М., Мозговой В.В., Ольховой Б.Ю., Прудкий А.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. – 2010. – Вип. 1(81). – С. 174-180.
6. Куцман О.М., Мозговой В.В., Баран С.А., Ольховий Б.Ю. Розширення будівельного сезону за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів при низьких температурах // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – С. 30-32.
7. Куцман А.Н., Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Онищенко А.Н. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2015. – Вип.55. – С. 20-26.

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

9. Куцман О.М., Мозговой В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., 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. – 2013. – № 11. – С. 69-76.

10. Мозговой В.В., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунок асфальтобетонного покриття на міцність, з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2017. – С. 182.

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

12. Куцман О.М., Мозговой В.В., Данчук В.Д., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Онищенко А.М., Мозгова Л.А. Розширення будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2014. – Вип. 29. – С. 247-258.

13. 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 / Мозговой В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

14. 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.).

15. 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.

16. ВСН 46-83 Інструкція по проектуванню дорожнього одягу нежорсткого типу

17. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу

18. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування

19. Радовский Б. С., Супрун А. С., Козаков И. И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей // Киев: Будівельник. – 1989. – 168 с.

20. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд // Киев: Полиграфконсалтинг. – 2003. – 260 с.

21. Бируля, А. К. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд автомобильных дорог. М., Транспорт, 1964, 167с.

22. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Н. Н. Иванова, М., Транспорт, 1973, 328с.

23. Салль, А. О. К вопросу о конструировании дорожных одежд с асфальтобетонным основанием. Труды Союздорнии. Вып. 105. Вопросы расчета и конструирования дорожных одежд. М., 1979, с. 142 – 155.

24. Радовский, Б. С., Н. Ф. Сасько, А. Е. Мерзликин. О рациональном конструировании дорожных одежд. Труды Союздорнии. Вып. 114. Совершенствоване конструкций и методов проектирования дорожных одежд. М., 1979, с. 93 – 105.

25. Радовский, Б. С., Н. Ф. Сасько, А. Е. Мерзликин, И. С. Горышник. Рациональное распределение цемента по толщине дорожной одежды. Автомобильные Дороги, 1981, No. 10, с. 4 – 5.
26. Рудюк В.В. Проектирование дорожных одежд многополосных городских улиц и дорог с учетом распределения транспортных нагрузок по проезжей части // Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14. – К., 1998. – 271 с.
27. Радовський Б.С. Концепція вечних дорожніх одягів // Каталог-справочник Дорожня Техніка – 2011. – с. 132-144.
28. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу // Дис. ... докт. техн. наук. Київ. 2005. – 550 с.
29. Головка С.К. Рациональні способи повторного використання асфальтобетону при реконструкції автомобільних доріг // Дис. ... канд. техн. наук. – К., 1999. – 210 с.
30. Радовський Б.С. Опыт применения технологии холодной регенерации дорожных покрытий в США // Каталог-справочник Дорожня Техніка – 2005. – с. 176-186.
31. Ладиженський І.С. Підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів за рахунок використання синтетичних сіток // Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2005. – 185 с.
32. Molenaar, A.A.A.; Structural Design of Pavements. PART III. Design of Flexible Pavements. Delft University of Technology, Delft, 2009. – P 165.
33. Куцман О.М., Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Баран С.А. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. 2019. Вип. № 1 (43). С. 26-38.
34. Куцман А.М., Мерзликин А.Е., Мозговая Л.А., Мозговой А.В., Мозговой В.В., Бесараб А.Н., Болотнюк Е.Н., Замана И.Н., Онищенко А.Н., Прудкий А.В. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд.//Дорожная техника. – 2007. - с. 126-139

35. Р В.3.2-218-02070915-496:2005 Рекомендації по застосуванню геосинтетичних матеріалів при будівництві та ремонті автомобільних доріг.

36. Р В.3.2-218-03450778-779:2010 Рекомендації з армування асфальтобетонних шарів покриття металевими сітками.

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

38. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво

39. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.

40. МР-218-02070915-232-2003 Методика розрахунку нежорстких дорожніх одягів з армуючими прошарками.

41. ВБН В.2.3-218-544:2008 Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві

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

43. Радовский Б.С. Первые представления о прочности и расчете дорожных одежд: дорожные одежды до XX века // Каталог-справочник Дорожная Техника – 2012. – с. 86 – 99.

44. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження. // Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – К., 2003. – 252 с.

45. Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст // Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2005. – 195 с.

46. Мозговий В.В., Смолянець В.В., Ладижинський І.С., Прудкий О.В. Уточнення розрахункових температур та інтенсивності руху при розрахунках

дорожнього одягу міських вулиць і доріг// Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний збірник, №4 (19), 2004.– С.- 55-59.

47. Радовский Б.С. Конструирование и расчет дорожных одежд в первой половине XX столетия: Часть II // Каталог-справочник Дорожная Техника – 2017. – с. 26 – 45.

48. Bagdat Teltayev and Boris Radovskiy. Predicting thermal cracking of asphalt pavements from bitumen and mix properties Road Materials and Pavement Design, 2017.

49. Ільченко В.В., Атембемах Келвіс. Чисельне дослідження пружних багатошарових моделей дорожнього одягу вуличної мережі м. Полтава при тролейбусних навантаженнях // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 62 (1). – С.125-132.

50. L. Francken, E.Beuving and A.A.A.Molenaar. Reflective Cracking in Pavements / RILEM. London, 1996. P. 103-112.

51. NCHRP 1-37A Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. <http://www.trb.org/mepdg/guide.htm>. (2007).

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

54. Куцман О.М., Густелєв О.О., Мозговий В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости : зб. наук. праць. 2018. Вип. № 18. С. 128-145.

55. Куцман О.М., Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Баран С.А. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. 2019. Вип. № 1 (43). С. 26-38.

56 S. Brown, N. Thom, P. Sanders A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking. Association of Asphalt Technologists. 2001, p. 543-571. <https://asphalttechnology.org/>.

57 Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. NCHRP Report, Issue 669, 2010, 70 p. <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22NCHRP%20Report%22>

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

59. Куцман О.М., Баран С.А. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: збірник наукових праць. – 2017. – Вип. 79. – С. 143-146.

60. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров.- М.: Высшая школа, 1983.-391 с.

61. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов.- М.- Л.: Химия, 1964.-387 с.

62. Отчет о НИР “Оценка влияния расчетных характеристик асфальтобетона на напряженно-деформированное состояние слоев дорожной одежды при статическом и кратковременном нагружении” Этап 1«Анализ результатов отечественных и зарубежных исследований по определению расчетных характеристик асфальтобетонов, методов расчета и конструирования дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями» М: РОСДОРНИИ, 2014, 269 с.

63. Отчет о НИР “Оценка влияния расчетных характеристик асфальтобетона на напряженно-деформированное состояние слоев дорожной одежды при статическом и кратковременном нагружении” Этап 2 «Установление количественных взаимосвязей между нормируемыми свойствами асфальтобетонов различных типов и видов с расчетными

характеристиками необходимыми для проектирования нежестких дорожных одежд» М: РОСДОРНИИ, 2014, 39 с.

64. Оценка усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий в реальных условиях эксплуатации. Ежемесячный информационно аналитический журнал «Автомобильные дороги» № 9 (898) Сентябрь, 2006.

65. Николенко М.А., Бессчетнов Б.В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий РГСУ, Ростов-на-Дону.

66. Братчун В.И., Гуляк Д.В., Беспалов В.Л. Тепловое старение дегтебетонных смесей и дегтебетонов // Современные проблемы строительства. – 2005. – № 3 (8). – С. 213-218.

67. Отчет о НИР “Оценка влияния расчетных характеристик асфальтобетона на напряженно-деформированное состояние слоев дорожной одежды при статическом и кратковременном нагружении” Этап 3 «Разработка моделей дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями на основе методов МКЭ с учётом различных моделей слоёв основания» Москва 2014, 62 с.

68. Пейрон К., Карофф Ж. Расчёт дорожных одежд. Пер. с фр. – М.: Транспорт, 1992.

69. А.Е. Мерзликин, Н.В. Капустников, Моделирование упругого однородного и двухслойного полупространства применительно к задачам по расчёту дорожных одежд методом конечных элементов

70. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.– 269 с.

71. Seed, H. B., Mitry, F. G., Monismith, C. L., and Chan, C. K. “Factors Influencing the Resilient Deformation of Untreated Aggregate Base in Two Layer Pavements Subjected to Repeated Loading,” Highway Research Record 190, 1967, Washington, D.C.

72. Hicks, R. G., and Monismith, C. L. “Factors Influencing the Resilient Response of Granular Materials,” Highway Research Record 345, 1971, Washington, D.C., pp. 15-31.

73. Shackel B Repeated Loading of Soils – A Review. Aust. Road Research. 1973. Vol. 5 No 3.
74. Uzan, J. “Characterization of Granular Material.” Transportation Research Record 1022, 1985, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 52-59.
75. Анализ расчётных значений модуля упругости асфальтобетонов. Б. Б. Телтаев, Президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», доктор технических наук, профессор
76. Михайлов А.В., Коцюбинская Т.А. Строительная теплотехника дорожных одежд. - М.: Транспорт, 1986, 149с.
77. Verstraten J. Loidefatigueenflexionrepeteedesmelangesbitumineux. - Bull. LiaisonLobor. P. etCh, 1974, N 70,s.141-156.
78. Pell P.S. Fatigueofbituminousmaterialsinflexiblepavements. - J. Inst. HighwayEng., 1971, 18, N 8,p.17-23.
79. Куцман А.М., Мерзликин А.Е., Мозговая Л.А., Мозговой А.В., Мозговой В.В., Бесараб А.Н., Болотнюк Е.Н., Замана И.Н., Онищенко А.Н., Прудкий А.В. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд.//Дорожная техника. – 2007. - с. 126-139
80. Ильюшин А.А. Об одной теории длительной прочности.- Инженерный журнал МТТ, 1967, N3, с.
81. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости.- М.: Наука, 1970.-280 с.
82. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов.-М.: Наука, 1972.-327 с.
83. ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі.
84. СОУ 45.2-00018112-058:2010 Монолітні дорожньо-будівельні матеріали Метод випробування на втому.

85. Р В.2.3-218-21476215-734:2008 Рекомендації з застосування армуючих синтетичних матеріалів різного типу для армування асфальтобетонних шарів при проектуванні конструкцій підсилення дорожнього одягу.

86. Р В.3.2-218-02070915-496:2005 Рекомендації по застосуванню геосинтетичних матеріалів при будівництві та ремонті автомобільних доріг.

87. Р В.3.2-218-03450778-779:2010 Рекомендації з армування асфальтобетонних шарів покриття металевими сітками.

88. Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Гайдачук В.В., Густелєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.

89. 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.

91. Мозговой В.В., Густелєв А.А., Гайдачук В.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термонапряженное состояние дорожных покрытий. Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у 126 проектуванні і навчальному процесі: III міжн. наук.-практ. конф. (24 – 25 вересня 2019 р., м. Київ). Київ, 2019

92. В.С. Степура, к.е.н., С.Ю. Тімкіна, Я.Л. Олюха. Ефективність капітальних вкладень в будівництво автомобільних доріг / Вісник інженерної Академії України. – №2. – 2010 р. – С. 277-280.

93. Методичні рекомендації з визначення інтегрального показника соціально-економічного ефекту від спрямованих фінансових ресурсів на потреби дорожнього господарства МР Г.1-37641918-890:2017.

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

95. Мерзликин А.Е. Разработка и исследование методики рационального конструирования дорожных одежд (на примере цементогрунтового основания) // Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14. – М., 1982. – 186 с.

96. ВБН В.2.3-218-189:2005 Споруди транспорту. Влаштування не укріплених та укріплених щебених та гравійних шарів основ дорожніх одягів

97. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.

98. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань

99. ДСТУ Б В.2.7-89-99 Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань (ГОСТ 12801-98)

100. EN 12697-30:2004 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 30: Specimen preparation by impact compactor

101. СОУ 45.2-00018112-020:2009 Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій

102. СОУ 42.1-37641918-099:2013. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення

103. СОУ 45.2-00018112-059:2010. Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності

104. СОУ 45.2-00018112-076:2012 Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик

105. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови

106. СОУ 45.2-00018112-046:2009. Асфельтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві

107. МР Г.1-37641918-890:2017 Методичні рекомендації з визначення інтегрального показника соціально-економічного ефекту від спрямованих фінансових ресурсів на потреби дорожнього господарства.

ДОДАТОК А

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ УТВОРЕННЯ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ ПІДСИЛЕННЯ

Приклад розрахункової схеми утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення наведено на рисунку А.1. на початку експлуатації асфальтобетонних шарів підсилення вони є монолітними (рисунок А.1 а).

Згідно із положеннями роділу 2 (умова 2.9), утворення тріщин в одному із підшарів асфальтобетонних шарів підсилення, визначається за залежністю

$$M_{i,j} = M_{T(i,j)} + M_{BtB(i,j)} + M_{BtT(i,j)} + M_{Sh(i,j)} \leq 1, \quad (A.1)$$

де $M_{T(i,j)}$ – міра вичерпування довговічності від коливання температури в j -тому прошарку i -того асфальтобетонного шару;

$M_{BtB(i,j)}$ – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень в нижній фібрі j -того прошарку i -того шару підсилення із асфальтобетону;

$M_{BtT(i,j)}$ – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень в верхній фібрі j -того прошарку i -того шару підсилення із асфальтобетону;

$M_{Sh(i,j)}$ – міра вичерпування довговічності від дії вертикальних дотичних напружень в j -тому прошарку i -того шару підсилення.

На першому етапі експлуатації на момент часу t_1 , міра вичерпування довговічності асфальтобетону для прошарку (з урахуванням виразу 2.10), у якому від дії відповідного виду напружень відбудеться утворення тріщини раніше, ніж у інших прошарках досягне свого граничного стану і буде дорівнювати 1, згідно виразу А.2:

$$M_{(i,j)} = \int_0^{t_1} \frac{dt}{t_p^*[\sigma(T,t)]} + \int_0^{t_1} \frac{dt}{t_p^*[\sigma(N,t)]} + \int_0^{t_1} \frac{dt}{t_p^*[\tau(T,t)]} = 1, \quad (A.2)$$

де t – час експлуатації покриття;

t_p^* – функція довговічності шару підсилення від дії відповідних факторів (горизонтальних нормальних напружень, що виникають від дії температури $t_p^*[\sigma(T,t)]$; горизонтальних нормальних напружень, що виникають від дії транспортних навантажень $t_p^*[\sigma(N,t)]$; вертикальні дотичних напружень, що виникають від дії транспортних навантажень $t_p^*[\tau(T,t)]$).

Після утворення тріщини в одному із прошарків, у якому вплив напружено-деформованого стану виявився найбільш несприятливим (у нашому випадку прошарок під номером $i,j = 2,3$) змінюється розрахункова схема роботи асфальтобетонних шарів підсилення за рахунок загального збільшення товщини шарів конструкції дорожнього одягу, які мають тріщинувато-блочну структуру (рисунок А.1 б). На цей момент часу t_1 в інших прошарках накопичилась пошкодженість структури асфальтобетону, що викликало утворення певного значення міри вичерпування довговічності кожного із них $M_{(i,j)}(T,t_1)$

На наступному етапі експлуатації шарів підсилення на момент часу t_2 , міра вичерпування довговічності асфальтобетону для прошарку (з урахуванням виразу 2.10), у якому від дії відповідного виду напружень відбудеться утворення тріщини раніше, ніж у інших прошарках досягне свого граничного стану і буде дорівнювати 1, згідно виразу А.3 (рисунок А.1 в):

$$M_{(i,j)} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t_p^*[\sigma(T,t)]} + \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t_p^*[\sigma(N,t)]} + \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t_p^*[\tau(T,t)]} = 1, \quad (\text{A.3})$$

Після утворення тріщини в одному із прошарків, у якому вплив напружено-деформованого стану виявився найбільш несприятливим (у нашому випадку прошарок під номером $i,j = 2,2$) змінюється розрахункова схема роботи асфальтобетонних шарів підсилення за рахунок загального збільшення товщини шарів конструкції дорожнього одягу, які мають тріщинувато-блочну структуру (рисунок А.1 в). На цей момент часу t_2 в інших прошарках накопичилась

пошкодженість структури асфальтобетону, що викликало утворення певного значення міри вичерпування довговічності кожного із них $M_{(i,j)}(T, t_2)$

Така процедура здійснюється для кожного із підшарів, до моменту коли наступить момент утворення тріщини в останньому із підшарів (рисунок А.1 е). Для даного прикладу час до утворення макротріщини в асфальтобетонних шарах підсилення буде відповідати значенню $t = t_5$.

Для кожної зміненої розрахункової схеми роботи шарів підсилення визначається граничне значення горизонтальних та вертикальних напружень, які впливають на розрив зв'язків у шарах підсилення з урахуванням температурного режиму та термо-в'язкопружних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, що визначаються за методиками, наведеними в розділах 2-4.

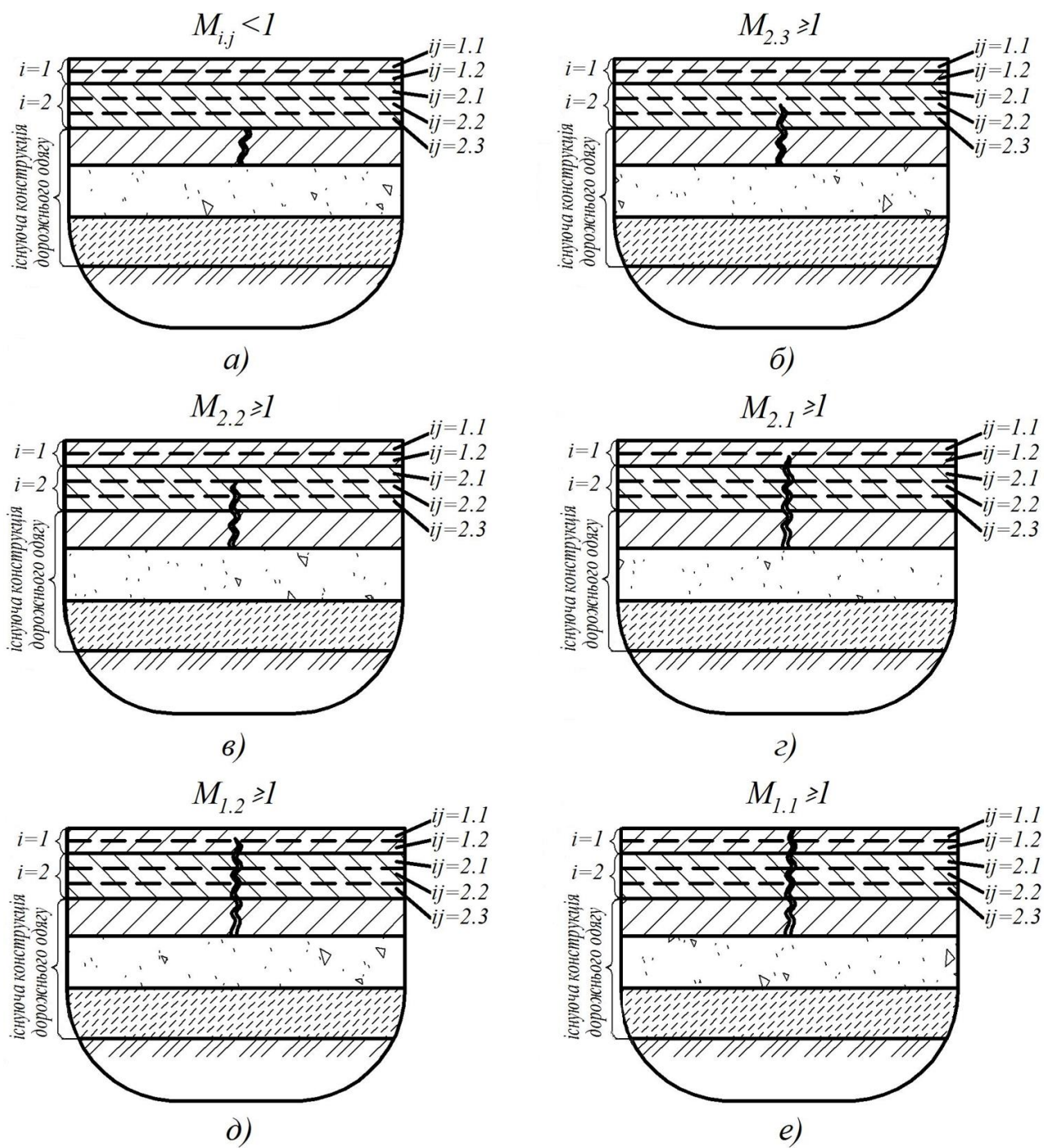


Рисунок А.1 – Схема утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення

ДОДАТОК Б

РЕКОМЕНДАЦІЇ З КОНСТРУЮВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

У процесі експлуатації дорожньої конструкції під впливом автомобільного руху, погодно-кліматичних і гідрологічних факторів відбувається поступове зменшення її міцності, пов'язане із внутрішніми необоротними змінами в окремих конструктивних елементах.

Дорожня конструкція вважається міцною, якщо на відповідний момент часу забезпечується необхідна її суцільність і рівність дорожнього покриття. Ця умова виконується у випадку, коли:

- загальна товщина дорожнього одягу достатня для забезпечення потрібної морозостійкості конструкції;
- модулі пружності дорожнього одягу не нижчі модулів пружності, необхідних за умовами руху;
- у зв'язних шарах дорожнього одягу не виникають розтягуючі напруження при згині, що перевищують допустимі значення;
- у незв'язних і слабкозв'язних шарах дорожнього одягу й ґрунті земляного полотна напруження, що виникають, не перевищують значень, при яких забезпечується умова місцевої граничної рівноваги по зсуву.

Щоб запобігти передчасному руйнуванню дорожніх покриттів, оцінюють міцність конструкцій і призначають заходи, що забезпечують необхідну їх надійність та термін служби.

Оцінку міцності дорожніх одягів виконують:

- при вирішенні питання про підсилення існуючих покриттів або тимчасовому обмеженні руху автомобілів по осьових навантаженнях у несприятливі по умови зволоження періоди року;
- на стадії приймання в експлуатацію побудованих ділянок доріг для контролю якості будівництва;
- для нагромадження банку даних про стан мережі доріг з метою раціонального планування коштів на ремонтні роботи;

Як узагальнюючий критерій несучої здатності дорожнього одягу використовують величину модуля пружності конструкції. Необхідні показники міцності призначають із врахуванням прийнятого розрахункового

навантаження, типу покриття, загальної товщини дорожнього одягу, товщини окремих шарів дорожнього одягу дорожньо-кліматичної зони й ґрунтово-гідрологічних умов на обстежуваній ділянці дороги.

Для оцінки міцності виконують польові випробування дорожніх одягів. Одержувані результати приводять до розрахункового періоду.

При вирішенні питання про підсилення покриттів, дорожні одяги піддають польовим випробуванням у випадках, коли їхній стан по рівності або ступеню ушкодження покриття дефектами у вигляді тріщин, сітки тріщин, просядок, хвиль і таке інше, не задовольняє вимогам ДСТУ 3587-97 до експлуатаційного стану автомобільних доріг.

За результатами польових випробувань, оброблених методами математичної статистики, визначають фактичні показники міцності дорожніх одягів, порівнюють їх з величинами, необхідними за умовами руху згідно з ВБН В.2.3-218-186, і роблять висновок щодо забезпечення несучої здатності обстежених доріг.

Необхідні показники міцності призначають із урахуванням фактичної інтенсивності транспортного потоку на дорозі, приведеної до розрахункових навантажень. Для приведення автомобілів до розрахункових навантажень використовують коефіцієнти приведення, призначені з урахуванням типу дорожнього одягу або міцності дорожньої конструкції.

Міцними вважаються такі ділянки дороги, на яких фактичні показники міцності дорожнього одягу не нижчі необхідних. Для неміцних ділянок розраховують шари підсилення або призначають заходи щодо обмеження руху автомобілів по осьових навантаженнях у несприятливі за умовами зволоження періоди року. Можливий і комбінований підхід, коли протягом деякого періоду обмежують рух по дорозі, а потім підсилюють дорожню конструкцію. У кожному конкретному випадку питання про проведення того або іншого заходу повинно вирішуватись на підставі техніко-економічних обґрунтувань.

Показники міцності дорожнього одягу визначаються згідно з розділом 3 ВБН В.2.3-218-186.

Дані рекомендації містять вказівки щодо проектування (конструювання, розрахунок, вибір раціонального варіанту) конструкцій підсилення дорожнього одягу з урахуванням його фактичного стану.

Оцінка міцності дорожніх одягів

Конструкцію існуючого дорожнього одягу, згідно вимог ВБН В.2.3-218-186 (додаток Н), характеризують шляхом загальної комплексної оцінки стану дорожнього одягу за такими ознаками:

- стан конструктивних шарів і відповідність їх товщин проектним;
- ґрунтово-гідрологічні умови роботи земляного полотна;
- стан покриття, визначений на основі візуального обстеження;
- значення пружного прогину, отримані в результаті випробувань дорожніх одягів.

Основними результатами обстеження (п.Н.4 ВБН В.2.3-218-186) є виділення однорідних (характерних) ділянок дороги, довжина яких, як правило, не менш за 300 м, з визначенням основних причин руйнувань (деформацій). Характерною є ділянка, що відрізняється від сусідньої хоча б однією із зазначених ознак:

- конструкцією дорожнього одягу;
- ґрунтом земляного полотна;
- типом місцевості за умовами зволоження;
- технологією влаштування покриття дорожнього одягу, видом і якістю застосовуваних при цьому матеріалів;
- інтенсивністю руху, приведеною до розрахункового автомобіля;
- стану покриття за видами руйнування (деформацій) (таблиця Н.1 ВБН В.2.3-218-186).

Міцність дорожніх одягів за пружним прогином оцінюється на підставі випробувань методами статичного чи динамічного навантаження згідно з Н.10 ВБН В.2.3-218-186.

У разі відповідності між усіма факторами товщину шару посилення визначають, виходячи з розрахункових значень пружного прогину, обчислення

якого роблять на підставі Н.10 ВБН В.2.3-218-186 шляхом приведення даних разових випробувань до розрахункового стану конструкції з урахуванням, у залежності від кліматичних умов, властивостей ґрунтів земляного полотна і шарів дорожнього одягу.

Якщо отримані розрахункові значення пружного прогину не узгоджуються з іншими факторами, необхідно виконати додатковий аналіз для визначення причин невідповідності за Н.7 ВБН В.2.3-218-186.

До початку випробувань дорожнього одягу необхідно вивчити проектні й експлуатаційні документи, перелік яких наведено в п.Н.9.2 ВБН В.2.3-218-186.

Після виконання робіт, наведених вище, потрібно візуально оцінити стан дорожнього одягу й установити види, розміри дефектів і можливі причини їхнього утворення (таблиця Н.1 ВБН В.2.3-218-186).

На підставі аналізу отриманих даних дорога розбивається на характерні ділянки за вимогами п.Н.4 ВБН В.2.3-218-186.

У разі браку вихідних даних про конструкцію дорожнього одягу, вид ґрунту земляного полотна, стан матеріалу в шарах дорожнього одягу, на кожному поперечнику характерних ділянок дороги, згідно п. Н.9.3 ВБН В.2.3-218-186, виконують розкриття дорожнього одягу і визначають стан матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу.

При розкритті дорожнього одягу виконується вимірювання товщини всіх шарів та робиться опис кожного шару за п. Н.9 ВБН В.2.3-218-186.

Одночасно з розкриттям і описом дорожнього одягу відбирають проби матеріалів для подальшого лабораторного дослідження. Маса проб для подальшого лабораторного дослідження приймається згідно з п.4.2 ДСТУ Б В.2.7-89 (для матеріалів на основі органічних в'язучих) та ДСТУ Б В.2. 1-8 (для ґрунтів). При відборі проб матеріалів із шарів покриття, окрім необхідної для проведення випробувань кількості, обов'язково відбираються зразки-керни непорушеної структури в кількості 12 шт.

При виконанні лабораторних досліджень визначаються показники фізико-механічних властивостей матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу і

робиться висновок про відповідність їх вимогам відповідних нормативних документів. Зразки-керни непорушеної структури випробовуються для визначення величини зчеплення між шарами згідно з СОУ 45.2-00018112-046.

З метою прийняття обґрунтованих рішень при проектуванні підсилення дороги необхідно проведення детальних інженерно-геологічних обстежень окремих ділянок дороги з метою одержання достовірних даних про стан земляного полотна, водовідвідних і дренажних споруд.

Оцінювання стану земляного полотна, водовідвідних і дренажних споруд робиться на підставі вивчення матеріалів експлуатаційної служби, візуальних і інструментальних обстежень. У підсумку повинні бути отримані матеріали, що характеризують:

- а) наявність і стан здимальних ділянок і ділянок дороги з недостатньою несучою здатністю ґрунту земляного полотна;
- б) наявність і стан водовідвідних і дренажних споруд, ґрунтові і гідрологічні умови місцевості;
- в) конструкцію земляного полотна і стан окремих конструктивних шарів.

Обстеження, як правило, проводять у весняний, найбільш несприятливий період роботи дорожніх конструкцій.

Обстеження здимальних ділянок дороги полягає в детальному вивченні ґрунтових і гідрологічних умов місцевості, характеру поверхневого стоку, в описі рослинного покриву, рельєфу місцевості, поперечного профілю земляного полотна й укосів, стану роботи дренажних споруд, у встановленні меж здимальних ділянок, часу повторності дії здимання, зовнішніх ознак його прояву, джерел зволоження, заходів боротьби із здиманнями, що застосовувалися, та їхньої ефективності.

При обстеженні здимальних ділянок особливу увагу слід звертати на вимірювання вологості ґрунтів земляного полотна по глибині і на встановлення джерел зволоження ґрунтів (поверхневі чи ґрунтові води). З цією метою зі свердловин не рідше, ніж через 0,5 м по глибині, відбирають зразки ґрунту для визначення природної вологості. У результаті детального обстеження здималь-

них ділянок доріг встановлюють водний режим земляного полотна і дорожнього одягу, причини здимання і намічають протиздимальні заходи.

Довжина ділянок дороги з недостатньою несучою здатністю земляного полотна може бути визначена візуально за станом покриття. Наявність тріщин у вигляді зірок на покритті свідчить про здимання ґрунтів земляного полотна при їхньому промерзанні.

Наявність густої сітки тріщин на поверхні покриття, що переходить на окремих ділянках дороги в колійність, осідання і пролами дорожнього одягу, свідчить про втрату несучої здатності ґрунтів земляного полотна внаслідок весняного перезволоження.

Ділянки з недостатньою несучою здатністю ґрунтів земляного полотна повинні бути детально обстежені у весняний період з метою встановлення причин надлишкового зволоження. Насамперед необхідно встановити джерело зволоження земляного полотна, глибину залягання ґрунтових вод стосовно поверхні покриття, наявність і тривалість застою поверхневих вод у насипу, на узбіччях і покритті, ступінь зволоження земляного полотна опадами, вид ґрунтів, що складають насип, і його висоту, наявність дренажних споруд і їхню здатність до подальшої роботи.

При конструюванні шарів підсилення дорожнього одягу необхідно виконувати розрахунок фактичної міцності дорожнього одягу. Такий розрахунок здійснюється згідно вимог додатку Н ВБН В.2.3-218-186 (п. Н.9.6, Н.9.7). При виконанні розрахунку фактичної міцності дорожнього одягу вихідними даними до розрахунку приймаються результати лабораторного визначення показників фізико-механічних властивостей матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу.

При оцінці міцності конструкції існуючого дорожнього одягу, окрім вимог зазначених вище, слід дотримуватись вимог Р А.2.1-218-05416892-675, М 218-03450778-650, МР В.2.3-218-03450778-709.

Конструювання шарів підсилення конструкції дорожнього одягу

При розробці проектного рішення для підсилення конструкції дорожнього одягу згідно вимог ВБН В.2.3-218-186 слід керуватися такими принципами:

- доцільність використання існуючого дорожнього одягу чи окремих його конструктивних шарів без попереднього руйнування;
- доцільність використання матеріалів конструктивних шарів після їхньої переробки;
- необхідність підвищення морозостійкості існуючої конструкції;
- необхідність забезпечення чи поліпшення дренажних властивостей існуючої конструкції;

При конструюванні дорожнього одягу необхідно враховувати загальні принципи конструювання і забезпечувати виконання функцій для кожного елементу дорожнього одягу: покриття, основи, додаткової основи.

Конструювання дорожнього одягу при капітальному ремонті повинно забезпечувати раціональне використання дорожньо-будівельних матеріалів існуючого дорожнього одягу, шарів і матеріалів підсилення з урахуванням їх доступності і технологічності. При цьому, як правило, існуюча конструкція дорожнього одягу використовується як додаткова основа, або як основа.

При конструюванні шарів підсилення дорожнього одягу слід виділяти три групи принципів конструювання дорожнього одягу [17, 31, 63]: раціональний розподіл матеріалів по глибині, раціональний розподіл матеріалів по ширині проїжджої частини, раціональне конструювання залежно від зміни умов роботи дорожнього одягу в часі.

Раціональний розподіл матеріалів по глибині повинен передбачати розміщення найміцніших дорожньо-будівельних матеріалів в самих напружених зонах конструкції.

Загальний принцип конструювання дорожнього одягу по товщині полягає в тому, що раціональний розподіл матеріалів по глибині конструкції повинен встановлюватися виходячи із закономірностей її напружено-деформованого

стану. Тільки таким шляхом можна одержати конструкції, раціональні з погляду будівельної механіки. Як правило, такі конструкції і характеризуються зниженою матеріаломісткістю, в порівнянні з іншим дорожнім одягом, або при тій же матеріаломісткості – підвищеною міцністю.

Враховуючи те, що небезпечнішими для укріплених в'язучими шарів дорожнього одягу є горизонтальні розтягуючі, а не вертикальні стискаючі напруження, при конструюванні дорожнього одягу з таких шарів слід так розподіляти в'язучі, щоб найкращим чином використовувати здатність матеріалів чинити опір розтягу при згині дорожнього одягу. При цьому епюра зміни модуля пружності по глибині нагадує форму двотавра.

Матеріали і в'язучі речовини повинні розподілятися так, щоб вартість одиниці об'єму шару знижувалася із збільшенням глибини його розташування від поверхні дорожнього одягу, на який впливає зовнішнє навантаження.

На багатосмугових автомагістралях умови роботи шарів дорожнього одягу в межах різних смуг нерівноцінні, оскільки вантажні автомобілі великої вантажопідйомності займають дві перші смуги руху, а легкові автомобілі – решту смуг. Тому, в даному випадку, доцільно проектувати дорожній одяг різної товщини для різних смуг руху.

Різка відмінність в товщині шарів одягу суміжних смуг при стрибкоподібній зміні жорсткості конструкції може послужити причиною утворення подовжніх тріщин поблизу межі цих смуг. Крім того, влаштування шарів з товщиною, що ступінчасто змінюється, по ширині проїжджої частини приводить до технологічних труднощів. Ці недоліки виключаються при поступовій зміні товщини дорожнього одягу по ширині проїжджої частини, коли при влаштуванні шарів підсилення поперечний ухил поверхні вирівнюючого шару повинен перевищувати ухил поверхні покриття.

Раціональне конструювання дорожнього одягу відповідно до зміни умов її роботи в часі ґрунтується на врахуванні умови роботи дорожнього одягу в річному циклі і в процесі служби. Найбільш несприятливі умови в районах з континентальним кліматом при наявності зв'язних ґрунтів земляного полотна

створюються весною або восени, коли унаслідок перезволоження знижуються жорсткість і міцність ґрунту або при наявності піщаних ґрунтів найбільш небезпечним може опинитися літо, коли міцність асфальтобетонного покриття і ґрунту найменша.

У зв'язку з сезонною нерівноцінністю умов роботи вважається, що раціональним є такий дорожній одяг, для якого запаси міцності по всіх критеріях граничного стану мало коливаються протягом року. З цієї точки зору близьким до раціональних є дорожній одяг з асфальтобетонними покриттями і основами. У жарку пору року, коли модуль пружності і показники міцності асфальтобетону зменшуються, зростають модуль і опір зсуву зв'язного ґрунту земляного полотна. Навпаки, восени і весною, коли зв'язний ґрунт земляного полотна має знижену несучу здатність, асфальтобетон характеризується підвищеною міцністю і жорсткістю.

Неоднорідність умов роботи дорожнього одягу протягом терміну служби обумовлена поступовим підвищенням інтенсивності руху і осьових навантажень. У таких випадках доцільно введення в дорожній одяг шару з матеріалу, що підвищує в часі свою міцність протягом тривалого терміну з темпом, приблизно відповідним темпу зростання інтенсивності руху. Це суміші на основі гранульованого доменного шлаку або матеріали, укріплені цементом і таке інше.

При конструюванні шарів підсилення дорожнього одягу для капітального ремонту прагнення максимально використовувати існуючий дорожній одяг викликає значні проблеми у зв'язку з її неоднорідністю, викликану наявністю різного роду руйнувань і деформацій, нерівномірно розташованих в плані і по товщині конструкції. Із збільшенням неоднорідності основи значно збільшується товщина і вартість шарів підсилення. Тому при конструюванні дорожнього одягу для капітального ремонту прагнуть до підвищення однорідності існуючого дорожнього одягу залежно від ступеня її пошкодження.

Процедура підготовки існуючого дорожнього одягу до проведення капітального ремонту може містити наступні конструктивно-технологічні прийоми:

- окремі локальні ремонти по відновленню несучої і розподільчої здатності;
- зняття одного або декількох найбільш пошкоджених шарів нежорсткого дорожнього одягу;
- ресайклінг одного або декількох шарів нежорсткого дорожнього одягу;
- фрагментація жорсткого дорожнього одягу на окремі блоки «безпечних» розмірів;
- повне зняття всіх шарів з подальшою переробкою і повторним повним або частковим використанням регенерованих матеріалів.

Покращення властивостей існуючого покриття чи заміну верхніх шарів конструкції дорожнього одягу, зі збереженням основи, згідно вимог ВБН В.2.3-218-186 застосовують у випадках, пов'язаних із значною втратою несучої здатності конструкції.

Обов'язкову заміну верхніх шарів конструкції дорожнього одягу необхідно передбачити, якщо величина зчеплення між асфальтобетонними шарами не відповідає вимогам СОУ 45.2-00018112-046.

Заміна всього дорожнього одягу, а також робочого шару земляного полотна згідно вимог ВБН В.2.3-218-186 необхідна при низькій несучій здатності існуючої конструкції, що обумовлена перезволоженням земляного полотна і неукріплених шарів основи дорожнього одягу. Цей спосіб застосовують у крайніх випадках, коли не вдається усунути джерела зволоження без зняття дорожнього одягу, коли дорожній одяг цілком зруйнований і його використання як основи для підсилення недоцільно.

Важливим питанням є об'єктивніше врахування температури і тривалості дії навантаження при проектуванні асфальтобетонних шарів підсилення на основі з різною термореологічною чутливістю, тобто залежністю від температури і тривалості дії навантаження, властивостей, що визначають рівень

напружень і деформацій, а також що впливають на виконання умови граничного стану. При конструюванні шарів підсилення слід враховувати, що, чим більша тривалість дії навантаження, тим більший об'єм руйнувань має дорожній одяг. Особливо це характерно для міських умов.

Для доріг і вулиць з важким і інтенсивним рухом, де є вірогідність заторів, повільного руху, зупинок і т.п. доцільно використовувати для основи матеріали, що містять неорганічні в'язучі речовини (вапно, цемент, металургійні шлаки і т.д.). Цьому особливо сприяють сучасні технології холодної регенерації існуючого дорожнього одягу.

Застосування шарів, влаштованих шляхом регенерації виконується згідно вимог ВБН В.2.3-218-539, ВБН В.2.3-218-545.

Найпоширенішими видами руйнувань асфальтобетонних шарів підсилення є тріщини, що утворилися як від коливання температури (температурні тріщини), так і від дії транспорту (силові тріщини). Наявність таких дефектів суттєво впливає на зменшення терміну служби асфальтобетонних шарів та збільшення витрат на передчасні ремонти. Одним із ефективних заходів для підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення є їх армування за допомогою армуючи синтетичних матеріалів (АСМ). Застосування АСМ при влаштуванні асфальтобетонних шарів підсилення дозволяє підвищити опірність асфальтобетону дії важкого і інтенсивного руху за рахунок збільшення його міцності на розтяг та витривалості на втому одночасно як під дією температурних напружень, так і напружень від дії транспорту. Застосування АСМ для армування шарів асфальтобетону при підсиленні дозволяє зменшити небезпеку утворення відображених тріщин, підвищити довговічність асфальтобетонних шарів за рахунок збереження їх суцільності та збільшити міжремонтні терміни служби покриття. Крім того, використання АСМ сприяє зменшенню транспортних витрат при виконанні капітального ремонту чи реконструкції, підвищенню темпів виконання робіт та зменшенню матеріалоємності.

При розробці завдання на проектування необхідно, використовуючи інформацію про доступні на ринку альтернативні варіанти АСМ, передбачати вибір застосованих та перевірених у вітчизняних умовах різних альтернативних типів армуючих матеріалів для розгляду в проектних рішеннях.

При проектуванні шарів підсилення під час капітального ремонту чи реконструкції автомобільної дороги рекомендується в обов'язковому порядку передбачати альтернативні варіанти конструкцій із армованими асфальтобетонними шарами. При проектуванні автомобільних доріг I-III категорій необхідно передбачати науково-технічний супровід проектування у відповідності з ДБН В.1.2-5 та ДБН А.2.2-3 із залученням організацій, що розробляли нормативні документи, або інших компетентних організацій.

При розробці проектної документації у відповідності з ДБН А.2.2-3 за узгодженням із замовником рекомендується виконати науково-дослідні роботи щодо оцінки ефективності застосування АСМ при армуванні асфальтобетонних шарів.

У проектній документації для доріг I та II категорій у відповідності з ДБН А.2.2-3 необхідно проектувати ділянки для виконання досліджень відпрацювання та випробування технології виконання робіт з влаштування армованих асфальтобетонних шарів підсилення.

Застосування матеріалів для влаштування армуючих та тріщиноперериваючих прошарків регламентується Р В.2.3-218-21476215-734, Р В.3.2-218-02070915-496 та ВБН В.2.3-218-544.

У разі потреби розширення існуючого дорожнього одягу при реконструкції ділянок дороги конструювання дорожнього одягу виконується відповідно до методики і вимог даних Рекомендацій та ВБН В.2.3-218-186 як для проектування нової конструкції дорожнього одягу.

З метою попередження утворення поздовжніх тріщин у місцях стику старої дорожньої конструкції з новою конструкцією при розширенні дорожніх одягів необхідно передбачити укладання армуючого чи тріщиноперериваючого прошарку.

ДОДАТОК В

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З АСФАЛЬТОБЕТОННИМИ ШАРАМИ ПІДСИЛЕННЯ

Числовий аналіз напружено-деформованого стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами підсилення здійснювали за методологією під керівництвом В.І. Гуляєва, що базується на методі скінченних елементів [85-93]. Схема конструкції дорожнього одягу прийнята для числового аналізу, представленого на рис. В.1.

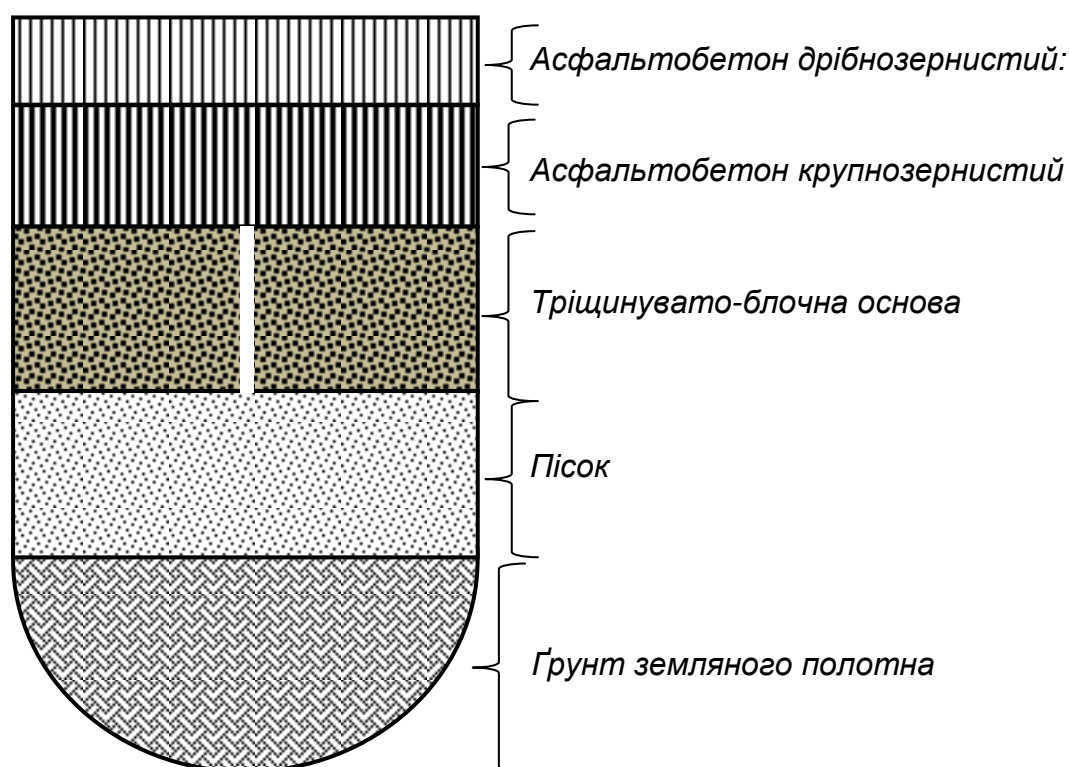
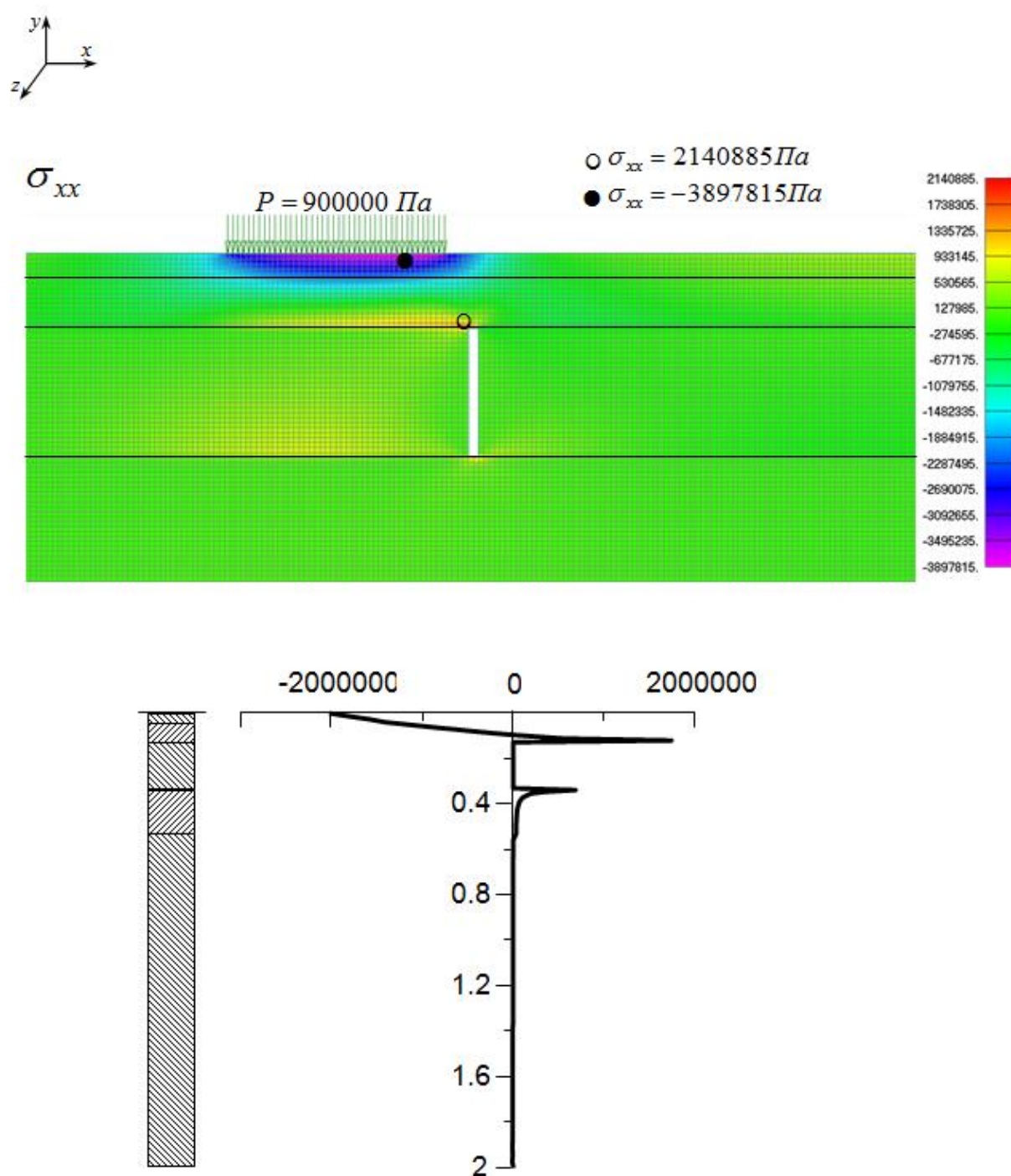


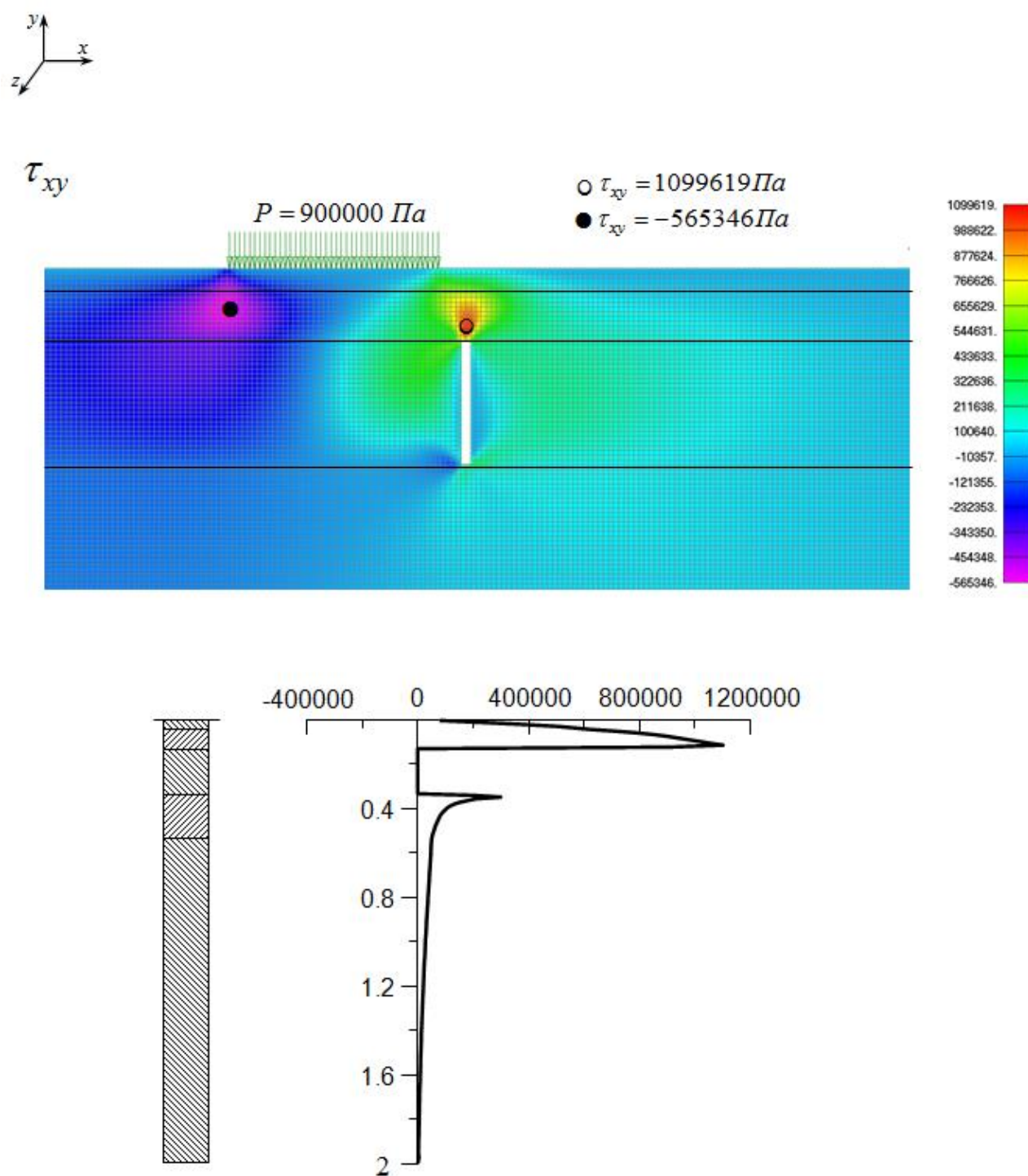
Рисунок В.1 – Конструкція дорожнього одягу, прийнята для числового аналізу конструкції дорожнього одягу з тріщиною в основі

Результати числового аналізу отримані спільно з Густєлевим О.О., Бараном С.А., Шлюнь Н.В., Шевчук Л.В. [85-93]. і наведені на рис. В.2 – В.12.



$h_1=0,04 \text{ м}, h_2=0,08 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,47 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.2



$h_1=0,04 \text{ м}, h_2=0,08 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,47 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.3

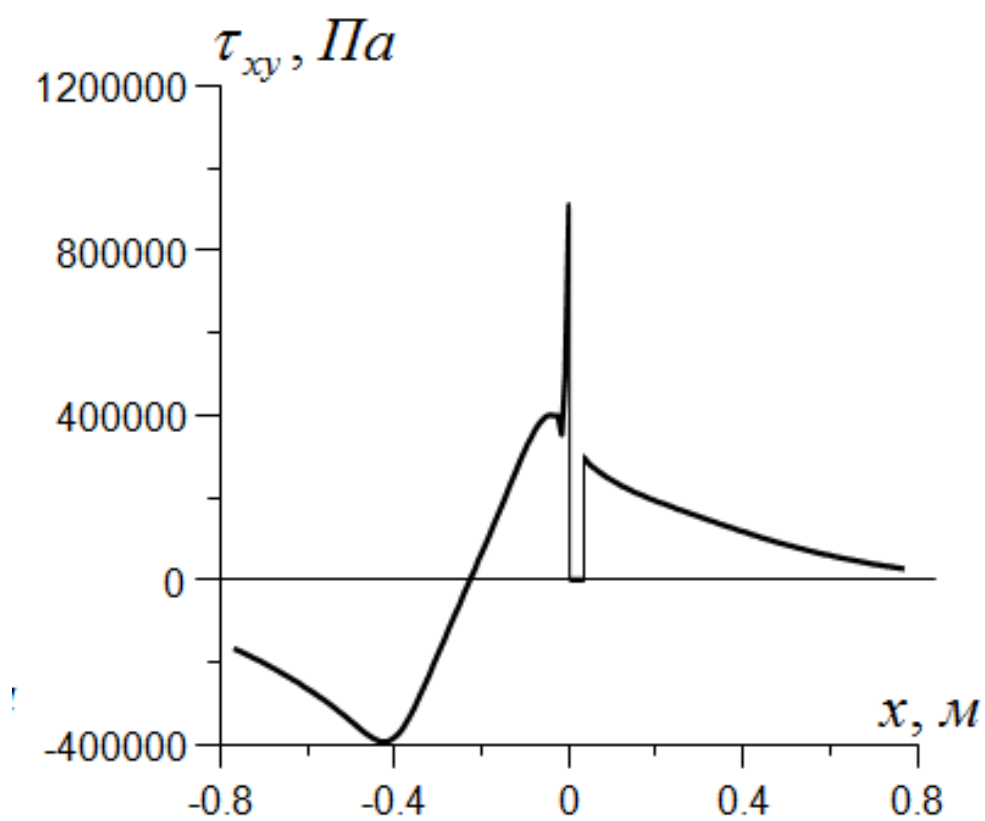
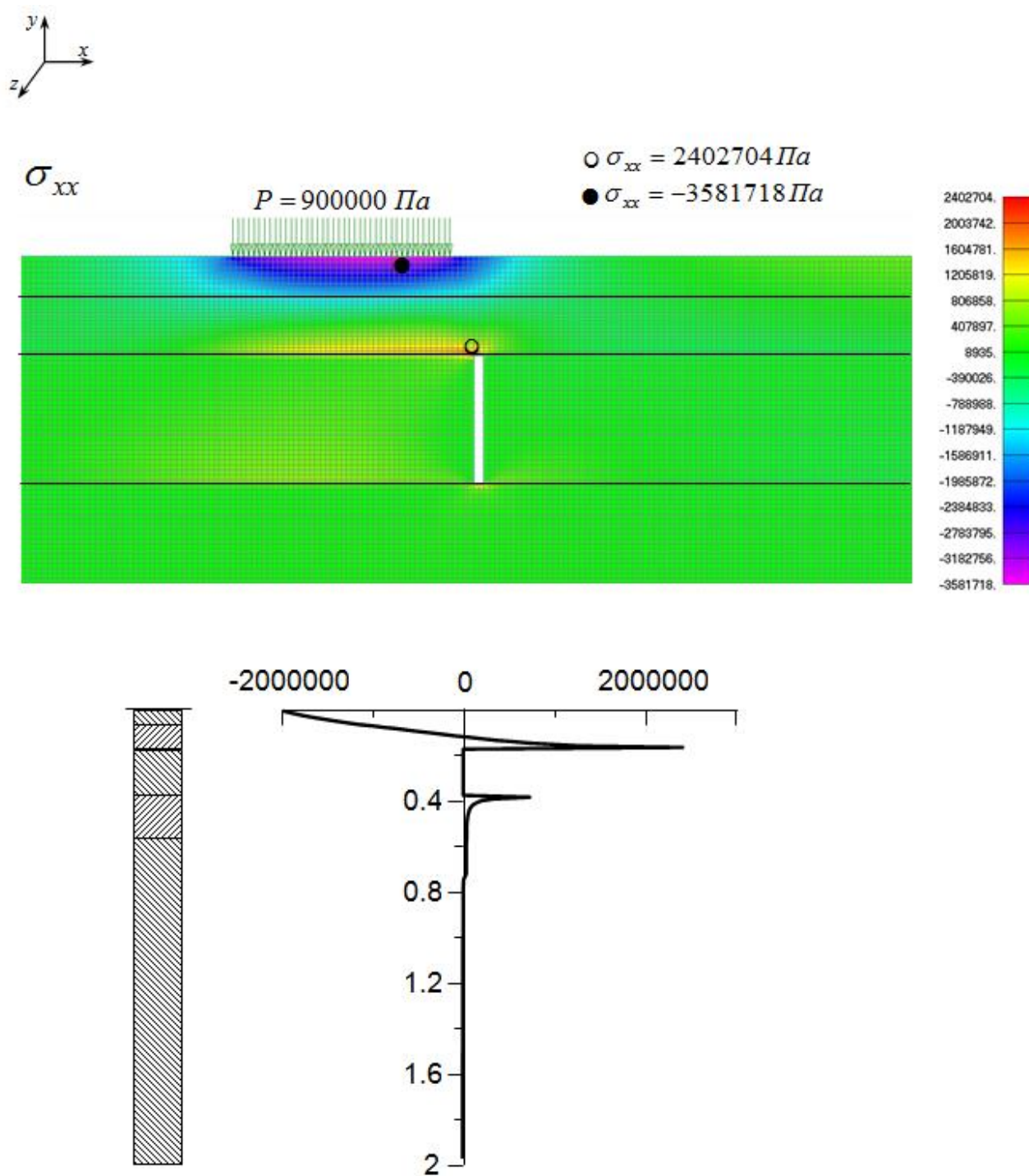
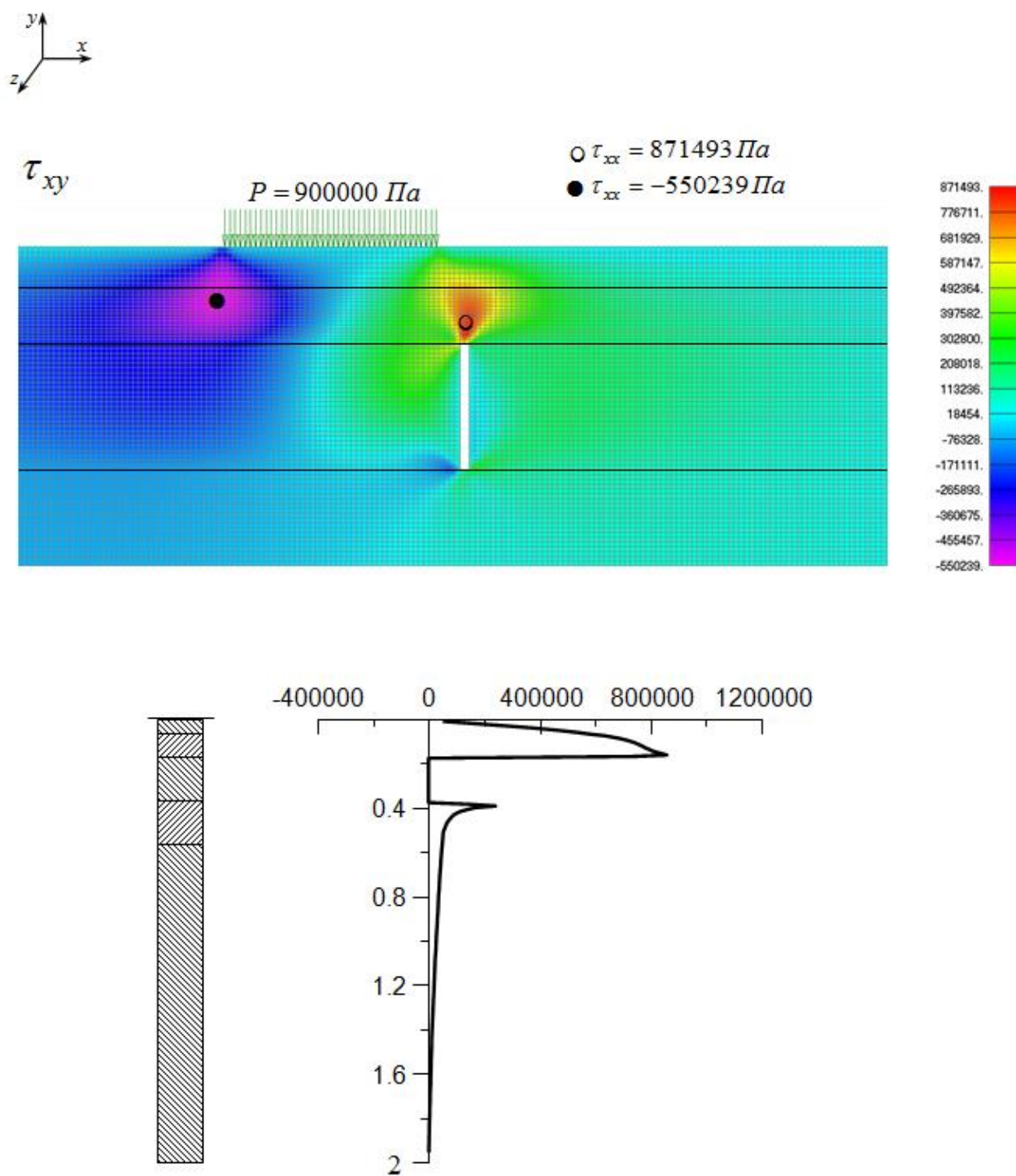


Рисунок В.4



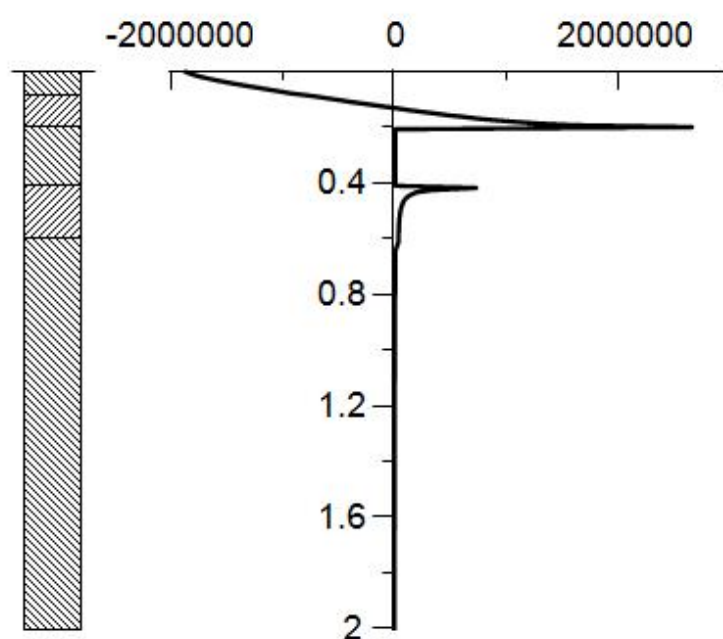
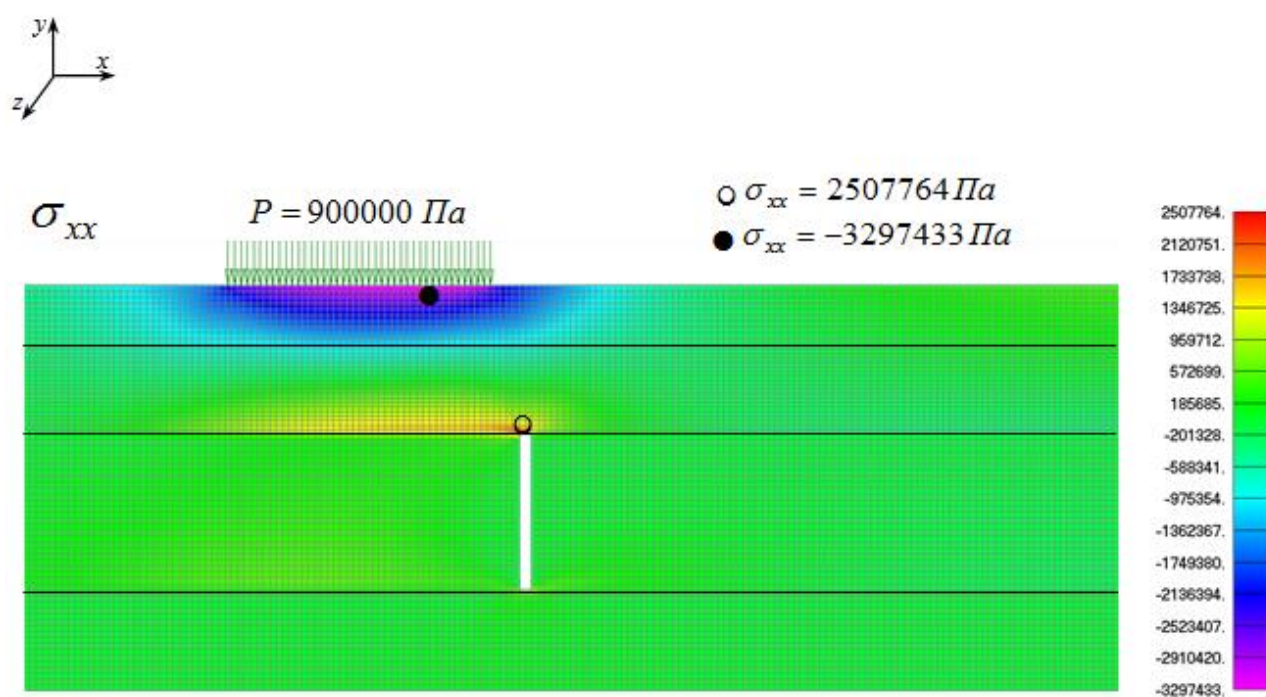
$h_1=0,06 \text{ м}, h_2=0,1 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,43 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.5



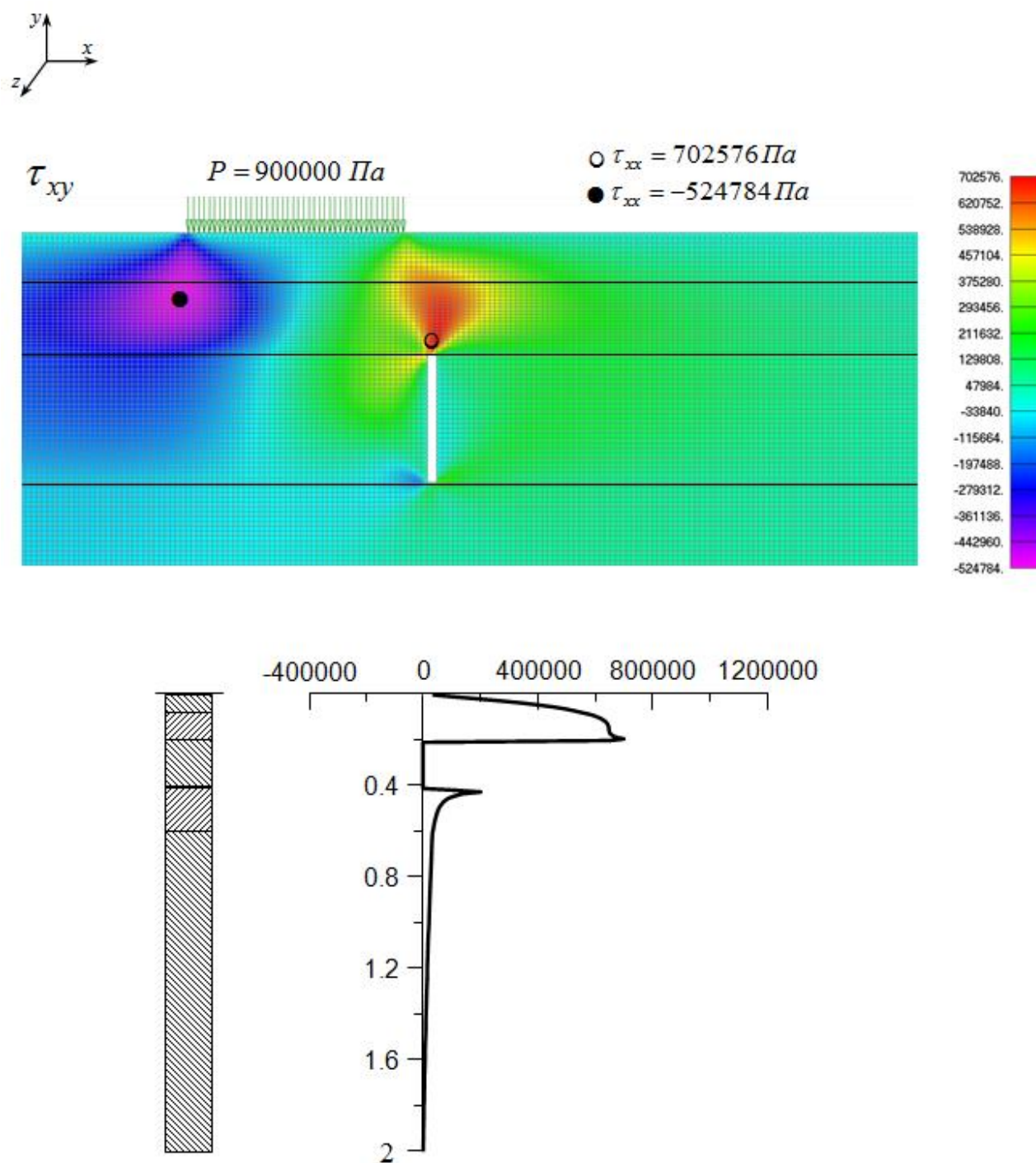
$h_1=0,06 \text{ м}, h_2=0,1 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,43 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.6



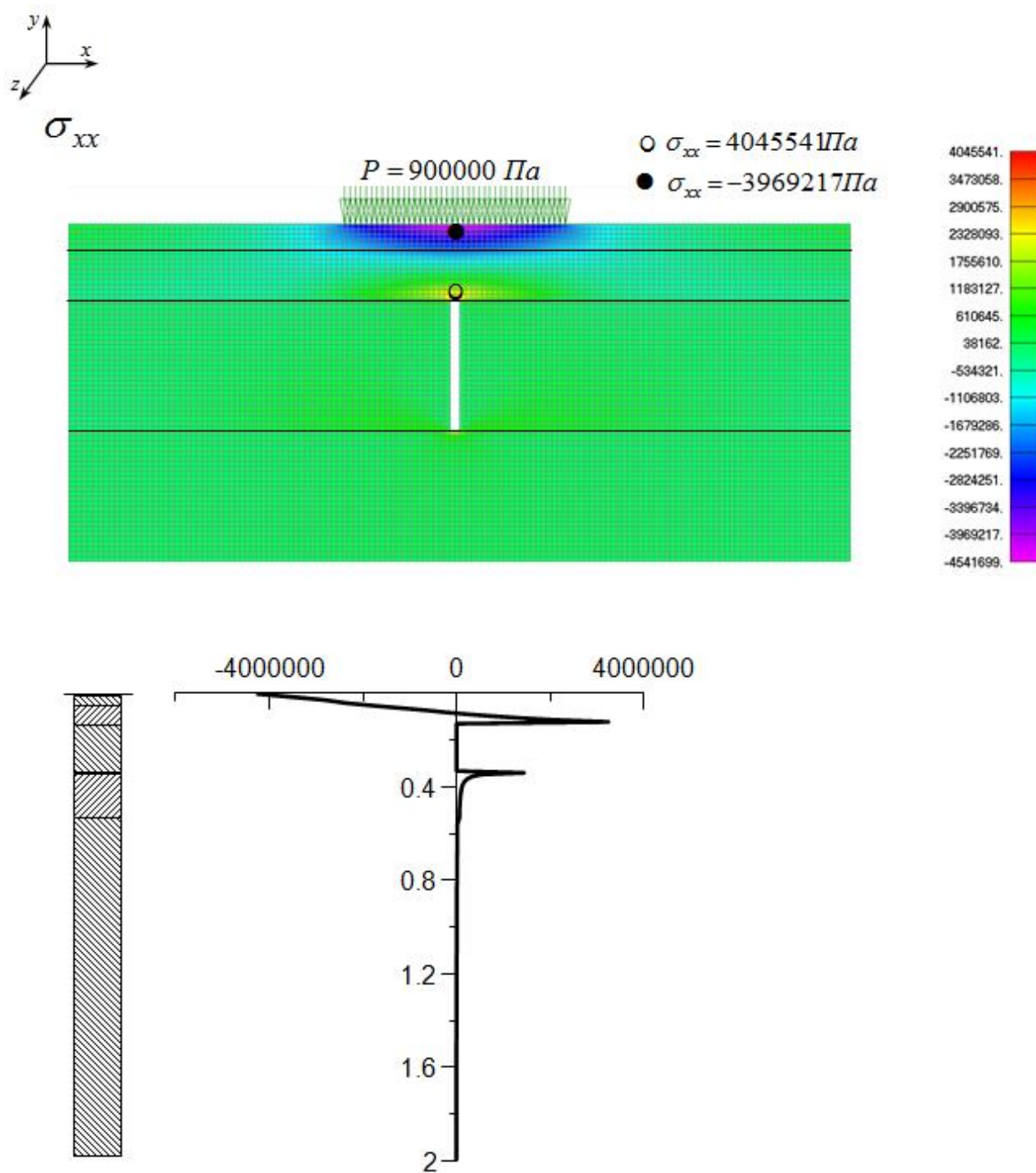
$h_1=0,08 \text{ м}, h_2=0,12 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,39 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.7



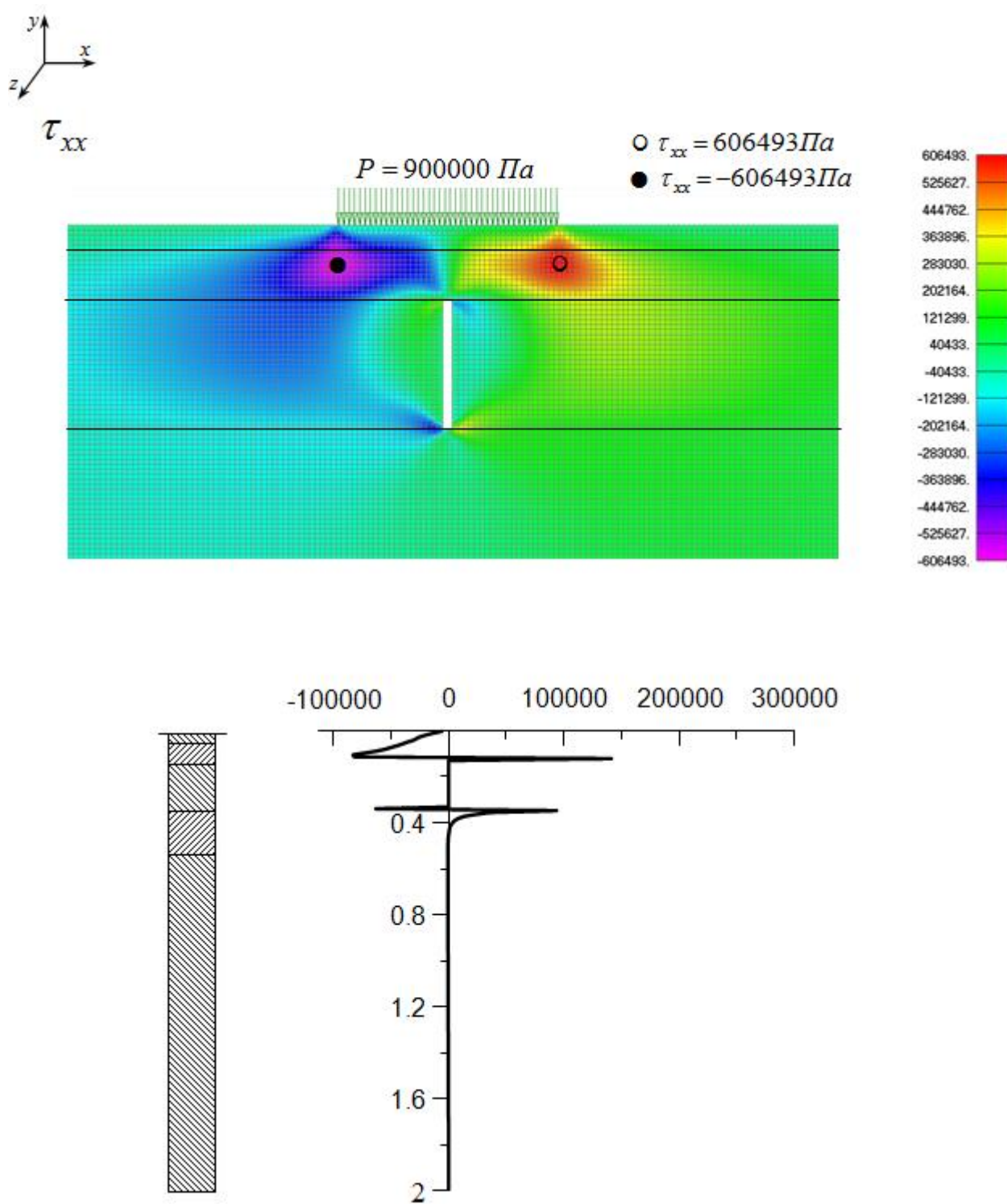
$h1=0,08 \text{ м}$, $h2=0,12 \text{ м}$, $h3=0,21 \text{ м}$, $h4=0,2 \text{ м}$, $h5=1,39 \text{ м}$, $P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.8



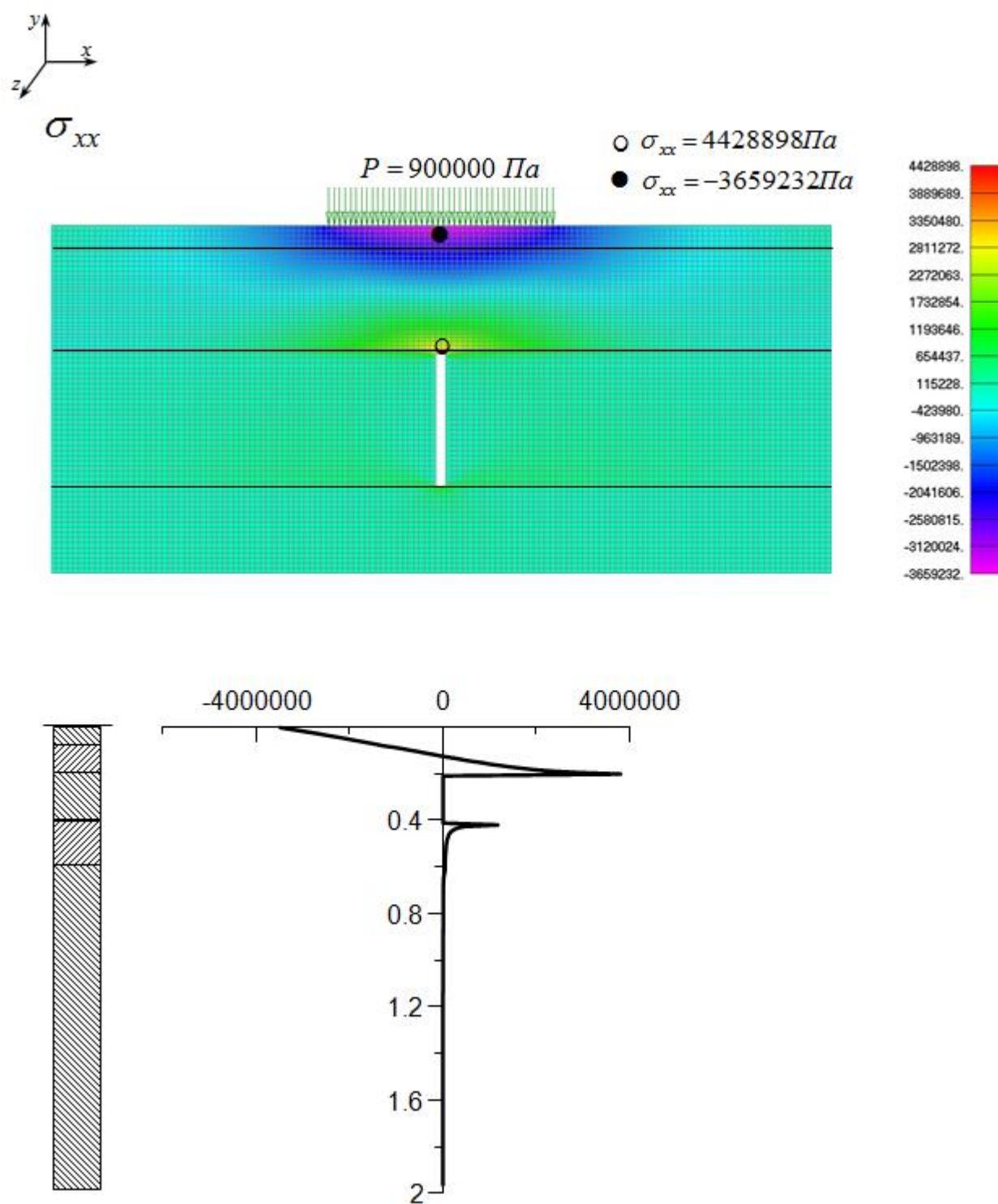
$h_1=0,04 \text{ м}$, $h_2=0,08 \text{ м}$, $h_3=0,21 \text{ м}$, $h_4=0,2 \text{ м}$, $h_5=1,47 \text{ м}$, $P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.9



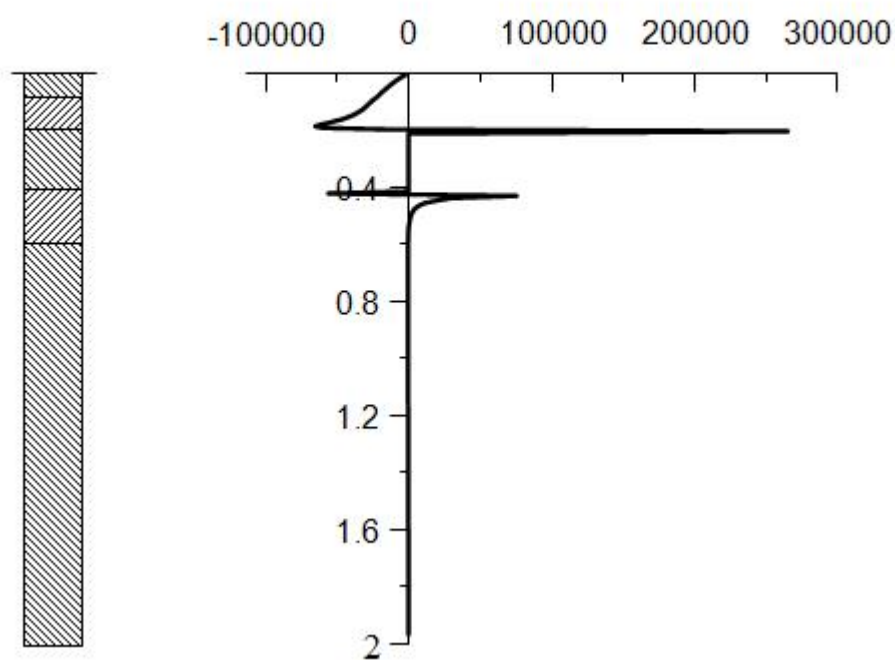
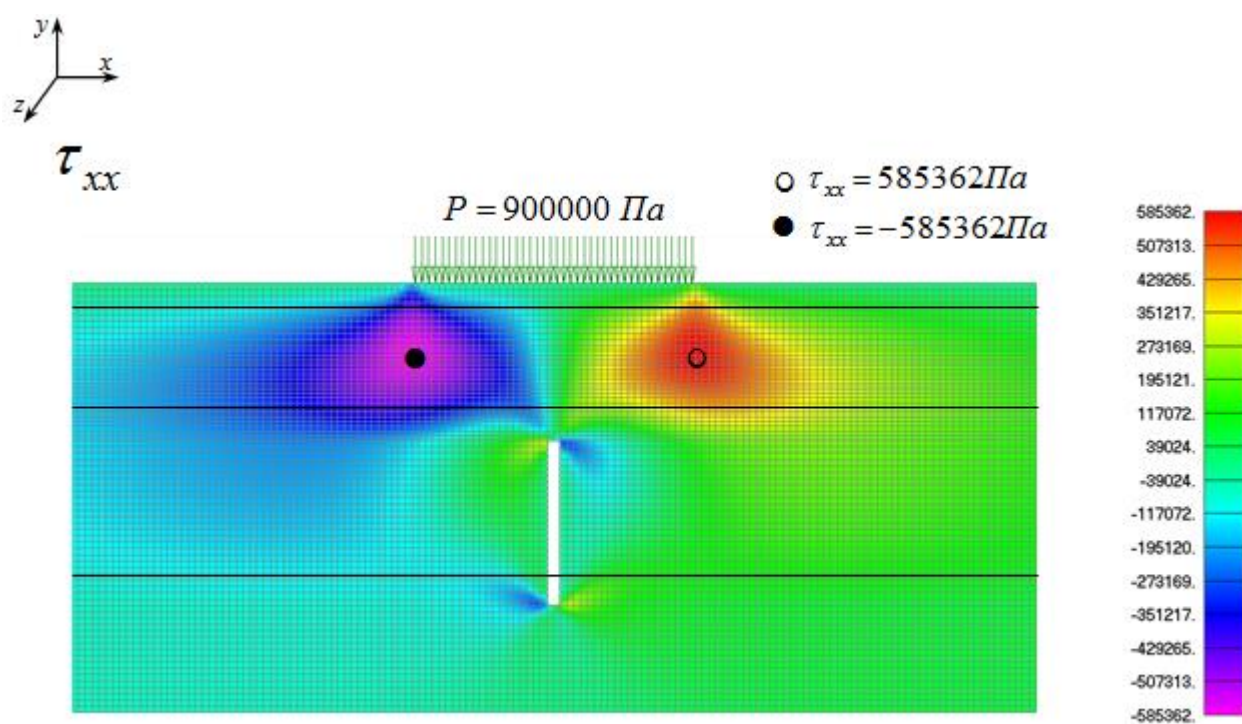
$h_1=0,04 \text{ м}, h_2=0,08 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,47 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.10



$h_1=0,08 \text{ м}$, $h_2=0,12 \text{ м}$, $h_3=0,21 \text{ м}$, $h_4=0,2 \text{ м}$, $h_5=1,43 \text{ м}$, $P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.11



$h_1=0,08 \text{ м}, h_2=0,12 \text{ м}, h_3=0,21 \text{ м}, h_4=0,2 \text{ м}, h_5=1,43 \text{ м}, P=900000 \text{ Па}$

Рисунок В.12

ДОДАТОК Г

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК



ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок
старшого викладача кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії
Національного транспортного університету
Куцмана Олександра Михайловича

Даною довідкою підтверджується, що Куцман О. М. є співрозробником наступних галузевих стандартів та рекомендацій у галузі дорожнього господарства:

1. ДСТУ-Н Б В.3.2-5:2016 Настанова з ліквідації вибоїн покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг;
2. ГБН В.2.3-218-547:2010 Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах;
3. СОУ 45.2-00018112-058:2010 Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому;
4. СОУ 45.2-00018112-062:2010 Методи випробування на кільцевому стенді
5. СОУ 45.2-00018112-059:2010 Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності;
6. СОУ 42.1-37641918-100:2013 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації;
7. СОУ 42.1-37641918-099:2013 Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення;
8. СОУ 45.2-00018112-046:2009 Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві;
9. СОУ 45.2-00018112-076:2012 Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик;
10. СОУ 45.2-00018112-020:2009 Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій;
11. СОУ 42.1-37641918-107:2013 Синтетичні матеріали для армування асфальтобетонного покриття. Оцінка довговічності при циклічному навантаженні;
12. М В 218-02070915-647:2008 Методичні вказівки з розрахунку дорожнього одягу різного типу на довговічність;
13. М 218-02070915-645:2008 Методика лабораторного визначення та встановлення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів;
14. М 218-02070915-633:2007 Методика проектування дорожнього одягу з конструкціями різного типу;
15. М-218-21476215-621:2007 Методика проведення досліджень матеріалів для герметизації дорожніх покриттів;
16. М 21476215/02070915-713:2012 Методика визначення циклічної довговічності армуючих синтетичних матеріалів асфальтобетонних шарів;

17. Р В.2.3-218-21476215-504:2006 Рекомендації з контролю якості щебеневомасикового асфальтобетону;
18. Р В.2.3-218-02070915-797:2011 Рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах;
19. Р В.2.3-218-21476215-513:2006 Рекомендації з проведення аварійного ремонту нежорстких дорожніх одягів у складних погодних умовах;
20. Р В.2.3-218-21476215-734:2008 Рекомендації з застосування армуючих синтетичних матеріалів різного типу для армування асфальтобетонних шарів при проектуванні конструкцій підсилення дорожнього одягу;
21. Р В.2.3-218-21476215-687:2007 Рекомендації з застосування ефективних матеріалів для герметизації тріщин і швів дорожнього покриття;
22. Р В.2.3-21476215-863:2015 Рекомендації з проектування дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування;
23. Р В.2.3-218-21476215-795:2011 Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття.

Вище зазначені нормативні документи, розроблені на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України. Дані розробки, застосування яких дозволяє підвищувати довговічність асфальтобетонного покриття, знайшли практичне відображення при проектуванні та влаштуванні асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг загального користування.

Начальник Відділу інноваційного розвитку



О. Ю. Тимошук



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)

СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. Вячеслава Чорновола, 22-а, м. Полтава, 36039,

тел./факс (0532)61-58-25, (0532)56-40-41

e-mail: mail@polsad.gov.ua, Код ЄДРПОУ 25898491

« 05 » лютого 2020 р. № 01-05/201

На № _____ від « _ » _____ 20 __ р.

Д О В І Д К А П Р О В П Р О В А Д Ж Е Н Н Я

наукових розробок аспіранта НТУ О.М. Куцмана

Кафедрою дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету при виконанні г/т № 43-01-14/218 було підібрано і обґрунтовано рецептури матеріалів, що можуть бути застосовані в якості складових дорожнього одягу з метою оптимізації показників вартості та забезпечення довговічності конструкцій при влаштуванні та утриманні шарів дорожнього одягу, в тому числі жорстких.

Результати НДР будуть впроваджені при влаштуванні шарів дорожнього одягу під час нового будівництва та реконструкції в межах Полтавської області ділянок автомобільної дороги державного значення Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка (індекс та назва до внесення змін постановою КМУ від 09.08.2017 №654 у Перелік автомобільних доріг загального користування державного значення: Р-52 Дніпропетровськ – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка).

Заступник начальника

Служби автомобільних доріг

у Полтавській області



Володимир НЕЧИПОРЕНКО

(0532) 56 40 41



Україна, 01014, м. Київ, вул. Командарна Каменська, 6, тел.: (044) 285-03-36, факс: (044) 284-75-20, e-mail: avtodor@kievavtodor.net.ua, http://www.kievavtodor.net.ua

24.02.2020 № 01-4/3/24-02/1

На № _____ від _____

Д О В І Д К А П Р О В П Р О В А Д Ж Е Н Н Я *наукових розробок аспіранта НТУ О.М. Куцмана*

Наукові дослідження Куцмана Олександра Михайловича, що направлені на забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу, були застосовані на об'єктах Комунальної корпорації «Київавтодор» (в період із 2010 по 2020 роки).

Зокрема, розробки Куцмана О. М. застосовувались при виконанні капітального ремонту просп. Перемоги, вул. Саперно-Слобідська, Дарницької площі та інших.

Виконувач обов'язків
генерального директора –
перший заступник
генерального директора



Володимир ГУЗЕМА



ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО

«Асфальтобетонний завод»

01013, м.Київ, хутір Острів, вул. Камішинська, 4

тел. (044) 285-68-37, 223-22-22

№ _____ від « _____ » _____ 2020 р.

Д О В І Д К А П Р О В П Р О В А Д Ж Е Н Н Я*наукових розробок аспіранта НТУ О.М. Куцмана*

Наукові дослідження Куцмана Олександра Миколайовича, що направлені на підвищення довговічності асфальтобетону, отримали практичне використання на Приватному акціонерному товаристві «Асфальтобетонний завод».

Для умов виробництва підприємства були запроектовані склади асфальтобетонних сумішей підвищеної довговічності для влаштування шарів підсилення дорожнього одягу. Розроблені склади використовувалися при влаштуванні шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу на вулицях м. Києва та на дорогах загального користування в Чернігівській і Сумській областях (протягом 2008-2019 років).

Перший заступник**голови правління ПрАТ «АБЗ»****В.В. Литовко**

Д О В І Д К А
про впровадження наукових розробок аспіранта
Національного транспортного університету
Куцмана Олександра Михайловича
(науковий керівник проф. Мозговий В.В.)

Результати наукових досліджень О. М. Куцмана застосовані при проектуванні та влаштуванні асфальтобетонних шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу на об'єктах будівництва «Онур Тааххут Ташимаджилик Іншаат Тіджарет Ве Санаї Анонім Ширкеті».

При цьому використовувались розробки, направлені на підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення, за рахунок конструктивних, матеріалознавчих та технологічних заходів.

Голова Представництва
«Онур Тааххут Ташимаджилик Іншаат
Тіджарет Ве Санаї Анонім Ширкеті»



Караахметоглу Емре

**Товариство з обмеженою відповідальністю
«СУЧАСНА ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА»
(ТОВ «СТІ»)**

Юр. адреса: 03194, м. Київ, б-р Кольцова, буд. 14Л групи 301-302, приміщення 1, факт. адреса: 03179, м. Київ,
пр. Перемоги, буд. 131, прим. 134, тел.: +38 (044) 299-0661, e-mail: sti.kyiv@gmail.com

вих. № 1215 від

Д О В І Д К А П Р О В П Р О В А Д Ж Е Н Н Я

*наукових розробок ст. викладача
кафедри ДБМ і хімії НТУ О.М. Куцмана*

Наукові дослідження Куцмана Олександра Михайловича, що направлені на забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу, були застосовані на об'єктах Товариства з обмеженою відповідальністю "СУЧАСНА ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА" (ТОВ "СТІ").

Зокрема, розробки Куцмана О. М. застосовувались при виконанні капітального ремонту шулявського шляхопроводу та вул. Богатирська у м. Києві та інших.

Директор



В. В. Гончаренко

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 47625

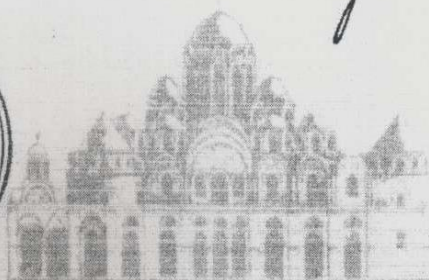
ПРИЛАД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКІВ
АСФАЛЬТОБЕТОНУ НТУ-ЗЧ-1

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі 10.02.2010.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(11) **47625**(19) **UA**(51) **МПК (2009)**
B01F 7/00(21) Номер заявки: **u 2009 10340**(22) Дата подання заявки: **12.10.2009**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.02.2010**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.02.2010, Бюл. № 3**

(72) Винахідники:

**Онищенко Артур
Миколайович, UA,
Мозговий Володимир
Васильович, UA,
Козлов Пилип
Володимирович, UA,
Резник Юхим Лазарович, UA,
Шверцер Юрій
Миколайович, UA,
Жуков Олександр
Олександрович, UA,
Лаптєва Наталія Сергіївна,
UA,
Прудкий Олександр
Вікторович, UA,
Лозовська Ірина Юріївна,
UA,
Ольховий Богдан Юрійович,
UA,
Куцман Олександр
Михайлович, UA,
Баран Сергій Анатолійович,
UA**

(73) Власники:

**Онищенко Артур
Миколайович,
вул.Короленка, 51, кв. 35,
м.Бровари, Київська обл.,
07400 UA, UA,
Мозговий Володимир
Васильович,
вул.Переяславська, 3-а, м.Київ,
04078 UA, UA,
Козлов Пилип
Володимирович,
вул.Луначарського, 3-в, кв. 48,
м.Київ, 02002, UA,
Резник Юхим Лазарович, UA,
Шверцер Юрій
Миколайович,
пров.Гучний, 1/13, м.Київ,
03110, UA,
Жуков Олександр
Олександрович,
пр.Героїв
Сталінграда, 14, кв. 142, м.Київ,
04210, UA**

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 62287

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"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) **Мозговий Володимир Васильович, Онищенко Артур Миколайович, Баран Сергій Анатолійович, Куцман Олександр Михайлович, Різніченко Олександр Сергійович, Лаптева Наталія Сергіївна**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать **Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010**

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

28.10.2015

Дата реєстрації



Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
А.Т.Жарінова



УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 68416

Літературний письмовий твір науково-технічного характеру "Стандарт організації України. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому. СОУ 45.2-00018112-058:2010. Проект"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Мозговий Володимир Васильович, Онищенко Артур Миколайович, Баран Сергій Анатолійович, Куцман Олександр Михайлович, Лаптева Наталія Сергіївна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

01.11.2016

Дата реєстрації



Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
Г.о. Гелови А.А. Малиш



УКРАЇНА



СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 73075

Літературний письмовий твір науково-технічного характеру "Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Визначення розрахункових модулів пружності. СОУ 45.2-00018112-059. Проект"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Мозговий Володимир Васильович, Онищенко Артур Миколайович, Баран Сергій Анатолійович, Куцман Олександр Михайлович, Лаптева Наталія Сергіївна, Чиженко Наталія Петрівна, Гудіменко Катерина Володимирівна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 25.07.2017



Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев

ПІК «Україна». Зам. 17-2005. 2017 р. III кв.

ДОДАТОК Д

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

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

1. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты: научн.-техн. журнал «БелдорНИИ». –2008. – № 2. – С. 16-20.

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

3. Куцман А.М, Баран С.А., Мозговой В.В., 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. – 2016. – Вып. 1(51). – С. 107-113.

4. Kutsman A., Baran S., Mozgovyi V. 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. Куцман О.М., Мозговой В.В., Ольховой Б.Ю., Прудкий А.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. – 2010. – Вип. 1(81). – С. 174-180.

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

7. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., 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. – 2013. – № 11. – С. 69-76.
8. Куцман О.М., Мозговий В.В., Данчук В.Д., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Онищенко А.М., Мозгова Л.А. Розширення будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2014. – Вип. 29. – С. 247-258.
9. Куцман А.Н., Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Онищенко А.Н. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2015. – Вип.55. – С. 20-26.
10. Куцман О.М., Мозговий В.В. та ін. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 57. – С.77-83.
11. Куцман О.М., Лаповська С.Д., Мозговий В.В., Баран С.А. Оцінка міцності цементобетонну існуючого покриття // Будівельні матеріали та вироби: наук.-техн.збірник. – 2016. – Вип. 2-3 (92). – С. 30-34.
12. Куцман О.М., Мозговий В.В., Баран С.А., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. – 2016. – Вип. 1 (34). – С. 294-302.
13. Куцман О.М., Баран С.А. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 79. – С. 143-146.

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

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

16. Куцман О.М., Густєлев О.О., Мозговий В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 18. – С. 128-145.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

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

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

20. Куцман О.М., Паламарчук М.В., Білоцерківська І.В. Особливості проектування асфальтобетонних шарів підсилення. LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2012. – С. 200.

21. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Куцман А.М. Методические особенности определения расчетных характеристик материалов нежестких дорожных одежд // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии ассоциации исследователей асфальтобетона. – Москва, 29-30 января 2014.

22. Мозговой В.В., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунок асфальтобетонного покриття на міцність, з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2017. – С. 182.

23. Alexander Kutsman, Vladimir Mozgovyi, Sergei Baran. Improvement in strength calculation for pavement structure of rail station areas // MATEC Web of Conferences Volume 116. 2017. P XX.

Свідоцтва та патенти:

24. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), B01F 7/00. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговой 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.

25. 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 / Мозговой В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

26. 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. (Мозговой В.В., Баран С.А. та ін.).

27. 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.).

28. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 62287 Україна. Літературний письмових 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.

29. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 67973 Україна. Літературний письмових 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.

30. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 68416 Україна. Літературний письмових 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 письмових 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., Чиженок Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

33. Куцман О.М., Мозговий В.В., Мозговий О.В. Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу мостових споруд //

Дороги і мости: зб. наук. праць. ДерждорНДІ. – 2007. – Вип. 7, в 2-х т., т.2. – С. 70-74.

34. Куцман О.М., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Кирієнко О.С. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій // Вісник ХНАДУ. – 2008. – Вип. 40. – С. 65-67.

35. Куцман А.М., Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Прудкой А.В.. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи // Каталог-справочник «Дорожная техника». – 2010. – С. 114-128.

36. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Жуков О.О., Юнак А.Л., Білан О.О. та ін. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві // Вісник ДонНАБА. – Вип. 1(81). – 2010. – С.53- 60.

37. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник – Вип. 43. – 2012. – С. 201-205.

38. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А.. Міцність дорожнього одягу–основа якості автомобільних доріг // Автомобільні дороги. – 2013. – №4 (234). – С. 32-35.

39. Куцман О.М., Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕС у будівництві автомобільних доріг // Вісник НТУ: наук.-тех. збірник, Частина 1: серія «Технічні науки».— 2014 – Вип. 29. – С. 199-205.

40. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Білан О.О. Кільцевий стенд – незамінний помічник у виборі найкращої конструкції дорожнього одягу // Дорожня галузь України. – 2014. – Вип. 4. – С 32-37.

41. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Баран С.А., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на

стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. – 2016. – Вип. 1 (34). – С.283-293.