

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАРКУША МИКОЛА ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ

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

_____ М. В. Гаркуша

Науковий керівник –
Онищенко Артур Миколайович
доктор технічних наук,
доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації

Засвідчую

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ В. І. Каськів

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Гаркуша М.В. Удосконалення методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

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, 2019.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок удосконалення методу її оцінки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення результатів. Також у вступі розкритий особистий внесок автора, апробація результатів, публікації, структура та загальний обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі на основі літературного огляду здійснено аналіз умов роботи покриття нежорсткого дорожнього одягу, а також проаналізовано існуючі теоретичні та експериментальні методи прогнозування утворення колії.

Асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг перебуває у складних умовах експлуатації, що підтверджується інтенсивним зростанням дефектів у вигляді колії (понад 60% пластичних деформацій із загальної кількості дефектів), у зв'язку з ростом параметрів транспортних навантажень та високих літніх температур.

Розглянуто та наведено стан проблем експлуатації асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, проаналізовано роботи з впливу різних факторів на утворення колії в

асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, існуючі типові конструкції дорожніх одягів, моделі та методи розрахунку покриття, а також існуючі способи підвищення його довговічності.

Проведений аналіз робіт свідчить, що до теперішнього часу залишається відкритим питання врахування сумісного впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів на утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу при лабораторних і стендових експериментальних дослідженнях.

Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів урахування дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, який дає можливість зробити висновок про те, що на даний час не розроблено удосконалений метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

У другому розділі наведено основні теоретичні положення та аналітичні залежності з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу. З метою вирішення поставлених задач, розроблено схему утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу. Встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє прогнозувати глибину утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах та включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури.

Удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, від дії вертикальних навантажень транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних

факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; укріплення ґрунтів; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантаження.

Уточнено залежності для прогнозування залишкових деформацій, а саме:

- для асфальтобетонного покриття – врахування функції модуля пластичності, який залежить від різного часу дії навантаження та зміни температури; функції, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів; параметри, що відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії;

- для укріпленого шару основи – врахування функції модуля деформації укріпленого шару, який залежить від різного часу дії навантаження; функції модуля деформації шару з дискретного матеріалу, який залежить від різного часу дії навантаження; та коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості укріпленого шару та дискретного матеріалу;

- для шару дискретного матеріалу – врахування функції модуля деформації шару з дискретного матеріалу, який залежить від різного часу дії навантаження; функції модуля деформації земляного полотна, який залежить від різного часу дії навантаження; та коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості дискретного матеріалу та земляного полотна.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням розрахункових термореологічних характеристик асфальтобетонів та укріплених ґрунтів, міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, проведенням лабораторним, стендовим та натурним дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії з метою вивчення їх закономірностей, а також наведено чисельний аналіз впливу

різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу.

Досліджено властивості асфальтобетону та укріплених ґрунтів, а саме: фізико-механічні властивості; розрахункові параметри термов'язкопружньо-пластичних властивостей (функція деформації, функція релаксації, функція пластичності), міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; характеристики утворення колії.

Одержані порівняльні результати випробувань асфальтобетонів типу А, Б (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-20), з яких випливає, що мінімальне значення глибини колії при температурі +50 °С становить 3,5 мм для ЩМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів.

Отримані експериментальні результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% портландцементу (ПЦ) для супіска та різній кількості волокон, встановлено, що на 90-ту добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 4%, 11%, 26%, 20 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 4 %, 14 %, 24 %, 12 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 8 %, 14 %, 28 %, 28 % відповідно.

Використана методика з визначення деформаційних властивостей матеріалів дорожньої конструкції в лабораторних умовах. Результатами досліджень при випробуванні матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу дали можливість отримати параметри функцій релаксації та функції модуля деформації та коефіцієнту пластичності.

На підставі натурних та стендових досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, перевірина адекватність теоретичних положень, підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними. Результати

досліджень дозволили встановити підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером, а також укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу.

Результатами дослідження встановлено оптимальні витрати підґрунтовки, що складають від $0,3 - 0,7 \text{ л/м}^2$ і суттєво залежить від виду асфальтобетону. Це свідчить про те, що при проектуванні асфальтобетонних шарів необхідно враховувати оптимальні параметри технології їх влаштування.

На основі чисельного аналізу встановлено і доведено можливість підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером (при їх кількості до 5 %); укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу. Проведено числове моделювання вертикальних переміщень в покритті нежорсткого дорожнього одягу за допомогою методу кінцевих елементів для різних конструкцій дорожнього одягу. На основі отриманих результатів зроблено висновок про те, що максимальні поля переміщень розповсюджуються в конструкції в якій не використовуються укріплення шарів основи, максимальні переміщення в конструкції з використанням укріплених матеріалів менші до 40%.

На підставі натурних, стендових та теоретичних досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9,0 % до 18,0 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

У четвертому розділі на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено практичні заходи з підвищення

стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів на всіх етапах життєвого циклу покриття: проектування складу асфальтобетонних сумішей та контролю якості їх складових; проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу; технології приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування покриття.

Розроблено практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, що дозволило отримати економічний ефект. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 7 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України. Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

У **додатках** наведено існуючі критерії та методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії; методики та результати експериментальних досліджень; запропоновані конструкції нежорсткого дорожнього одягу; приклад розрахунку за удосконаленою методикою оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії; приклад розрахунку економічної ефективності застосування дисертаційних досліджень; результати впровадження дисертаційних досліджень, список опублікованих праць.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетон, бітум, дорожній одяг, колія, навантаження, покриття, стійкість, температура, термов'язкопружність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

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

1. Garkusha M. V. Prediction and assessment of residual strain of asphalt concrete pavement using finite element method / Onishchenko A. M., Leshchuk O. M. // *International scientific and practical conference "World science"*. 2018. № 4 (20), Vol.2. P. 32 – 35. ISSN 2413-1032.

Статті у фахових виданнях:

2. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // *Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2012. – Вип. № 47 – С. 47 – 53.

3. Гаркуша М. В. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Гаркуша М. В., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С. // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2012. – № 26. – С. 79 – 84.

4. Гаркуша М. В. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Різніченко О. С., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. – 2013. – № 1. – С. 58 – 65.

5. Гаркуша М. В. Використання нових нормативних документів для визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2013. – Вип. 49. – Ч. 1. – С. 245 – 251.

6. Гаркуша М. В. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С. Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – № 90. – С. 57 – 65.

7. Гаркуша М. В. Аналіз застосування холодних асфальтобетонів підвищеної колієстійкості для аварійного ремонту в екстремальних погодніх умовах / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – № 91. – С. 52 – 75.

8. Гаркуша М. В. Метод розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг / Онищенко А. М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 58. – С. 288 – 294.

9. Гаркуша М. В. Підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // Дороги і мости: Збірник наукових праць. – К. : ДП «ДерждорНДІ», 2017. – Випуск 17. – С. 27 – 41.

10. Гаркуша М. В. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / Онищенко А. М., Худолій С. М., Лещук О. М. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). – С. 309 – 319.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Гаркуша М. В. Вплив укріплення ґрунтів на підвищення довговічності конструкції дорожнього одягу та зменшення колієутворення на автомобільних дорогах України / Гаркуша М. В. // *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету.* – Харків : ХНАДУ, 2010. – С.84 – 87.

12. Гаркуша М. В. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП / Мозговий В.

В., Онищенко А. М., Білан О. О. // Дороги і мости. – 2011. – Вип. 13 – С. 76 – 89.

13. Гаркуша Н. В. Методы повышения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В. // *Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. Материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»* – Минск – 2012. – С. 144 – 150.

14. Гаркуша М. В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів»*. Х. : ХНАДУ. – 2012. – С. 88 – 94.

15. Гаркуша М.В. Аналіз результатів випробування дорожнього одягу різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами / Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг»*. Харків., ХНАДУ – 2013. – С. 154 – 159.

16. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу. *LXXIII Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2017. – С. 43.

Свідоцтва та патенти:

17. Свідоцтво серія № 48068 Науковий твір. Методика визначення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів конструкції дорожнього одягу з використанням доменних шлаків в шарах основи /

Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Дата реєстрації 26.02.2013 р.

18. Свідectво серія № 78942 Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. СОУ 45.2-00018112-020:2009. Проект» / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Різніченко О. С., Гаркуша М. В., Лещук О. М., Тюленєв Є. І., Плазій Є. П. Дата реєстрації 10.05.2018 р.

SUMMARY

Garkusha M. V. Improving the method of evaluation of the stability of coverage of non-rigid pavement to rutting. – Manuscript.

Thesis is submitted for obtaining a Candidate Degree in Technical Science (PhD): speciality 05.22.11 «Highways and airfields». (branch of knowledge 192 – construction and civil engineering). – National Transport University, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to increasing the stability of the surface of non-rigid road pavement to rutting by improving the method of its evaluation at the stage of design, construction and operation of highways.

The introduction substantiates the relevance of the chosen theme, its connection with scientific programs, the purpose and tasks of research, scientific novelty and practical significance of results are formulated. Author's personal contribution, evaluation of results, publications, structure and general overview of PhD thesis are covered in the introduction.

The first chapter analyzes the operating conditions of non-rigid road pavement, as well as the existing theoretical and experimental methods of forecasting of rutting.

Problem state of the usage of asphalt concrete surfacing of non-rigid pavement on highways is considered and analyzed, the influence of various factors on the formation of rutting in asphalt concrete surfacing of non-rigid road

pavement, existing standard designs of road pavement, models and methods of pavement calculation, as well as existing methods for increasing its durability are analyzed.

The conducted analysis shows that up to this day, the question of taking into account the combined influence of the recipe-structural, constructive, technological, climatic and transport factors on the formation of rutting in the surface of non-rigid road pavement in laboratory and bench experimental researches remains open.

Thus, an analysis of the existing approaches considered the effect of vertical loads of vehicles at high summer temperatures on the formation of rutting in asphalt concrete surface of non-rigid road pavement, which makes it possible to conclude that at present, an improved method for assessing the stability of the non-rigid road surface to formation of rutting taking into account the recipe-structural, constructive, technological, climatic and transport factors is enough developed and researched.

In the second chapter, the main theoretical issues and analytical dependencies of forecasting the formation of rutting in asphalt concrete surface of non-rigid road pavement are given. In order to solve the challenge, a scheme of rutting on asphalt concrete surface of non-rigid pavement is developed.

Dependencies of forecasting of residual deformations are improved, namely:

- asphalt concrete surfacing – consideration of the function of the module of plasticity, which depends on different loading time and temperature changes; a function that reflects the influence of the combination of the causes of rutting from the recipe-structural, constructive, technological factors; parameters reflecting the influence of the cyclic load on rutting;

- reinforced base layer – consideration of the function of the deformation module of the reinforced layer, which depends on the different loading time; the function of the deformation module of a layer of discrete material, which depends on the different loading time; and coefficients that consider viscoplastic properties of the reinforced layer and discrete material;

– discrete material layer – consideration the function of the deformation module of a layer of discrete material, which depends on the different loading time; the functions of the deformation module of subgrade, which depends on the different loading time; and coefficients consider the viscoplastic properties of the discrete material and the subgrade.

The third chapter is devoted to the experimental study of the calculated thermoreological characteristics of bitumen concrete and reinforced soils, the strength of the adhesion between the asphalt concrete and the shear foundation, a laboratory, stand and field investigation of the influence of various factors on the formation of residual strains in the form of rutting, in order to study their patterns, and also numerical analysis are given.

Properties of asphalt concrete and fortified soils are researched, namely: physical and mechanical properties; calculated parameters of thermo viscoplastic properties (deformation function, relaxation function, plasticity function), bond strength between asphalt concrete and the base during shearing; rutting characteristics.

The comparative results of testing of asphalt concrete types A, B (with a maximum grain size of 20 mm crushed stone), stone mastic asphalt (SMA-10, SMA-20) are obtained, it shows that the minimum depth of rutting at a temperature +50 °C is 3, 5 mm for SMA-20, and in the type A-20 the value of rutting is more than 2,7 times.

Experimental results on tensile strength dependence on bending time from hardening time at 5% Portland cement (PCC) different amounts of fibers are obtained. It was established that for 90 days compared with the control sample, the strength when adding polymer fibers from the mass of cement in quantity 0.5%, 1%, 2%, 3% higher by 4%, 11%, 26%, 20% respectively; at 9% of the PCC higher by 4%, 14%, 24%, 12% respectively; with 13% PCC higher by 8%, 14%, 28%, 28% respectively.

Method to determine the deformation properties of road construction materials in laboratory conditions is used. The results of research in testing the

materials of the layers of the base with the help of a lever press allowed to obtain the parameters of the relaxation functions and the function of the deformation module and the coefficient of plasticity.

Based on field and bench studies, the dependence of the formation of the depth of rutting in asphalt concrete pavement on different designs of non-rigid road clothes from the influence of the recipe-structural, constructive, technological, climatic and transport factors, verification of the adequacy of the theoretical positions is established, and the adequacy of theoretical decisions with experimental data is confirmed.

The results of the studies allowed to establish an increase in the stability of the asphalt concrete pavement of non-rigid road clothing to the formation of rutting due to application: in the upper and lower layers of asphalt concrete surfacing on the bitumen modified polymer, as well as the reinforced base layer and rational design of road pavement.

The results of the study determined that the optimal cost of substrates ranging from 0,3 – 0,7 l/m² and it significantly depends on the type of asphalt concrete. This is evidenced, however, designing the asphalt concrete layers it is necessary to consider the optimum parameters of the technology of their placement.

On the basis of numerical analysis, it was established and proved the possibility of increasing the stability of the asphalt concrete coverage of non-rigid pavement to rutting due to application: in the upper and lower layer of asphalt concrete surfacing on bitumen modified polymer (with their number up to 5%); reinforced base layer and rational design of road pavement. Numerical modeling of vertical displacements in the surfacing of non-rigid pavement with the help of the method of finite elements for various designs of road pavement was carried out.

On the basis of the obtained results, it was concluded that the maximum displacement fields propagate in a structure in which the reinforced layers is not used, the maximum displacement in the structure with the use of reinforced materials is less than 40%. On the basis of field, bench and theoretical studies, the

dependence of the formation of the depth of rutting in asphalt concrete pavement on various designs of non-rigid pavement from the influence of the recipe-structural, constructive, technological, climatic and transport factors is established. The difference in the results ranges from 9.0% to 18.0%, with a confidence level of 0.95.

The fourth chapter is based on the results of theoretical and experimental researches, practical measures have been developed to improve the stability of asphalt concrete surfacing of non-rigid road pavement to rutting with the use of recipe-structural, structural and technological methods at all stages of the operational cycle of the surface: design of the composition of asphalt concrete mixtures and quality control of their constituents; design of non-rigid roadway construction; technology of preparing asphalt mixes and coating arrangement.

The approbation of the main theoretical and practical results of the PhD thesis at enterprises and organizations is confirmed by the relevant implementation acts.

The annexes present existing criteria and methods for assessing the stability of asphalt concrete surface of non-rigid pavement to rutting; methods and results of experimental researches; offered designs of non-rigid pavements; an example of calculation for an improved method of assessing the stability of asphalt concrete surface of non-rigid road pavement to rutting; an example of calculation of economic efficiency of application of research; the results of the implementation of the PhD thesis research, the list of publications.

Key words: asphalt, bitum, surface, coverage, pavement, road network, rutting, thermoviscoelastic.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

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

1. Garkusha M. V. Prediction and assessment of residual strain of asphalt concrete pavement using finite element method / Onishchenko A. M., Leshchuk O. M. // *International scientific and practical conference "World science"*. 2018. № 4 (20), Vol.2. P. 32 – 35. ISSN 2413-1032.

Статті у фахових виданнях:

2. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. № 47 – С. 47 – 53.

3. Гаркуша М. В. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Гаркуша М. В., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С. // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 26. – С. 79 – 84.

4. Гаркуша М. В. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Різніченко О. С., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – № 1. – С. 58 – 65.

5. Гаркуша М. В. Використання нових нормативних документів для визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2013. – Вип. 49. – Ч. 1. – С. 245 – 251.

6. Гаркуша М. В. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С. Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – № 90. – С. 57 – 65.

7. Гаркуша М. В. Аналіз застосування холодних асфальтобетонів підвищеної колієстійкості для аварійного ремонту в екстремальних погодніх умовах / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – № 91. – С. 52 – 75.

8. Гаркуша М. В. Метод розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг / Онищенко А. М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 58. – С. 288 – 294.

9. Гаркуша М. В. Підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // Дороги і мости: Збірник наукових праць. – К. : ДП «ДерждорНДІ», 2017. – Випуск 17. – С. 27 – 41.

10. Гаркуша М. В. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / Онищенко А. М., Худолій С. М., Лещук О. М. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). – С. 309 – 319.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Гаркуша М. В. Вплив укріплення ґрунтів на підвищення довговічності конструкції дорожнього одягу та зменшення колієутворення на автомобільних дорогах України / Гаркуша М. В. // *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету.* – Харків : ХНАДУ, 2010. – С.84 – 87.

12. Гаркуша М. В. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП / Мозговий В.

В., Онищенко А. М., Білан О. О. // Дороги і мости. – 2011. – Вип. 13 – С. 76 – 89.

13. Гаркуша Н. В. Методы повышения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В. // *Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. Материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»* – Минск – 2012. – С. 144 – 150.

14. Гаркуша М. В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів»*. Х. : ХНАДУ. – 2012. – С. 88 – 94.

15. Гаркуша М.В. Аналіз результатів випробування дорожнього одягу різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами / Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг»*. Харків., ХНАДУ – 2013. – С. 154 – 159.

16. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу. *LXXIII Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2017. – С. 43.

Свідоцтва та патенти:

17. Свідоцтво серія № 48068 Науковий твір. Методика визначення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів конструкції дорожнього одягу з використанням доменних шлаків в шарах основи /

Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Дата реєстрації 26.02.2013 р.

18. Свідоцтво серія № 78942 Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. СОУ 45.2-00018112-020:2009. Проект» / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Різніченко О. С., Гаркуша М. В., Лещук О. М., Тюленєв Є. І., Плазій Є. П. Дата реєстрації 10.05.2018 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ СТОСОВНО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ.....	34
1.1 Основні передумови дослідження	34
1.2 Критерії і методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії .	38
1.3 Існуючі експериментальні методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.....	53
1.4 Існуючі способи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії...	55
1.5 Висновки по розділу, мета та задачі дослідження	59
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ.....	62
2.1 Концептуальні положення з оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	62
2.2 Теоретичні дослідження накопичення залишкових деформацій у вигляді колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу	63
2.3 Дослідження температурного режиму асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.....	69
2.4 Метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	75
2.5 Висновки по розділу.....	85
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ І СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ	

АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ.....	87
3.1 Мета та задачі експериментальних досліджень	87
3.2 Матеріали експериментальних досліджень	89
3.3 Методики визначення властивостей об'єктів досліджень	89
3.3.1 Натурні дослідження стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	89
3.3.2 Методика визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетону	90
3.3.3 Визначення залишкових деформацій у вигляді колії в лабораторних умовах	90
3.3.4 Методика оцінки міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним шаром і асфальтобетонним покриттям	90
3.3.5 Методика встановлення термов'язкопружньо-пластичних характеристик асфальтобетону	91
3.3.6 Методика визначення стандартних фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами	92
3.3.7 Визначення розрахункових характеристик ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами.....	92
3.3.8 Визначення модуля пружності на важільному пресі.....	92
3.3.9 Аналіз результатів стендових експериментальних досліджень утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу на кільцевому стенді	94
3.3.10 Визначення стійкості до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу в літній період.....	96
3.4 Результати експериментальних досліджень	96
3.4.1 Проведення натурних досліджень стійкості	

асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	96
3.4.2 Визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетону.....	100
3.4.3 Оцінка стійкості асфальтобетонів до утворення колії.....	100
3.4.4 Оцінка міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним шаром і асфальтобетонним покриттям.....	102
3.4.5 Встановлення термов'язкопружньопластичних характеристик асфальтобетону	102
3.4.6 Результати визначення стандартних фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами	107
3.4.7 Результати визначення розрахункових властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами.....	107
3.4.8 Результати випробувань матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу.....	110
3.4.9 Аналіз результатів стендових експериментальних досліджень коліє стійкості асфальтобетонного покриття на кільцевому стенді.....	116
3.5 Числове моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу	113
3.6 Перевірка адекватності теоретичних рішень.....	147
3.7 Висновки по розділу.....	151
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	154
4.1 Практичні рекомендації щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	154
4.1.1 Конструктивні заходи щодо підвищення стійкості	

асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії	156
4.1.2 Технологічні заходи при влаштуванні конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної стійкістю до утворення колії.....	159
4.1.3 Регулювання властивостей матеріалів конструкцій дорожнього одягу для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії	162
4.2 Заходи направлені на усунення утвореної колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу .	170
4.3 Приклади практичного застосування дисертаційних досліджень	172
4.3.1 Влаштування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості на автомобільній дорозі М 06 Київ – Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+00 в Житомирській та Київській областях.....	172
4.3.2 Влаштування шару основи методом холодного ресайклінгу при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів - Нові Яриловичі /на Гомель/, км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342	175
4.3.3 Проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної стійкості до утворення колії при реконструкції вул. Братської в м. Києві...	177
4.3.4 Влаштування асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності на автомобільній дорозі М 03 Київ – Харків – Довжанський в Київській та Полтавській областях.....	179
4.4 Висновки по розділу.....	182
ВИСНОВКИ.....	184
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	187
ДОДАТКИ (окремий том)	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГЛИБИНА УТВОРЕННЯ КОЛІЇ (h_{az}) – це відстань від нижньої точки поперечного профілю до лінії початкової поверхні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в міліметрах.

ВИСОТА ВИПОРУ КОЛІЇ (ω_e) – відстань від лінії початкової поверхні покриття до верхньої точки гребеню випору в міліметрах. Встановлюється рейка за допомогою стійок на реperi в горизонтальне положення та визначається вертикальна відстані між початковою поверхнею покриття і верхньою точкою гребеню на відстані 0,5 м праворуч від гребеню.

ВИПОР – це підняття поверхні покриття нежорсткого дорожнього одягу у вигляді гребеню на краю смуги накату під дією руху транспортного засобу

ДОПУСТИМА ГЛИБИНА КОЛІЇ – розрахункова глибина колії, визначена з умови забезпечення безпеки руху автомобілів на мокрому покритті, а також з врахуванням впливу колії на умови очищення покриття від снігових відкладень і боротьби з зимовою слизькістю.

КОЛІЯ – це поглиблення в поздовжньому напрямку на асфальтобетонному покритті проїзної частини автомобільної дороги, що утворюються на смузі накату під дією транспортних засобів.

ЗАЛИШКОВА ДЕФОРМАЦІЯ – це деформація, що залишається в конструктивному шар нежорсткого дорожнього одягу після усунення вертикального навантаження з урахуванням інтенсивності руху транспортних засобів при високих температурах. На поверхні асфальтобетонного покриття, конструктивного шару чи зразка виражена у вигляді колії.

СТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ – стійкість всіх елементів дорожнього одягу чинити опір дії вертикального навантаження та інтенсивності руху транспортних засобів при високих температурах, що призводять до утворення колії на поверхні покриття.

ВСТУП

Актуальність роботи. Досвід останніх років експлуатації автомобільних доріг показує, що одним з найпоширеніших дефектів на асфальтобетонному покритті від транспортного навантаження та високої літньої температури є колія, яка призводить до зменшення його строку служби, а відповідно і всієї конструкції дорожнього одягу в цілому.

Головною причиною утворення колії на асфальтобетонному покритті є та обставина, що більшість доріг були запроектовані під розрахункові навантаження групи А (100 кН на вісь) та групи Б (60 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації автомобільних доріг, зростає не тільки інтенсивність руху, але і збільшуються параметри транспортного навантаження.

Недостатня стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії суттєво знижує як міцність всієї конструкції дорожнього одягу, так і особливо рівень безпеки руху за рахунок створення ефекту аквапланування в місцях застою води та зимової слизькості.

Згідно існуючих правил ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України поява колії на асфальтобетонному покритті автомобільних доріг, є недопустимою, а та, що виникла, підлягає терміновій ліквідації. Ремонт та заходи з ліквідації колії на асфальтобетонному покритті є складним, трудомістким та фінансово витратним процесом, що супроводжується значними матеріальними та енергетичними затратами. Окрім того, існуючі підходи з виконання ремонтно-відновлюваних робіт по усуненню колії не завжди призводять до бажаного результату. Як показує широкий практичний досвід, використання типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, не завжди забезпечують необхідну стійкість до утворення колії, а методи їх розрахунку є недосконалими.

Існуючі методи оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та укріплених шарів основи з урахуванням режимів навантаження великовагових транспортних засобів за різних температурних умов.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок удосконалення методу її оцінки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382).

Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрою дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Підвищення довговічності дорожнього одягу нежорсткого типу автомобільних доріг з шарами основи із доменних шлаків» (д/б № 6, державний реєстраційний № 0111U002153), «Підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг і вулиць за рахунок застосування інноваційних технологій» (д/б № 29, державний реєстраційний № 0114U005141); «Оцінка колієстійкості і колійності дорожнього асфальтобетонного покриття» (д/б № 47, державний

реєстраційний № 0117U002325), та з тематичним планом таких науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, як: «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 91-11, державний реєстраційний № 0111U005559), «Виконати комплекс лабораторних досліджень та уточнити розрахункові характеристики асфальтобетонів згідно чинних методик розрахунку нежорстких дорожніх одягів» (д/б № 39-15, державний реєстраційний № 0115U001653); «Провести дослідження та розробити національний стандарт щодо технічних умов на асфальтобетонні суміші і дорожній асфальтобетон з базальтовою фіброю» (д/б № 43-18, державний реєстраційний № 0118U000730); «Провести дослідження та розробити методику розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автомобільних дорогах» (д/б № 68-18, державний реєстраційний № 0118U000728).

Мета і задачі дослідження

Мета роботи полягає в удосконаленні методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, при дії вертикальних навантажень транспортних засобів за високих літніх температур.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- провести аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії;
- встановити аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах;
- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів та укріплених ґрунтів; міцність зчеплення

між асфальтобетоном та основою при зсуві; лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії; закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу;

– розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

Об’єктом дослідження – явище утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від інтенсивності дії навантаження транспортних засобів та зміни температурних умов.

Предметом дослідження – закономірності утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії вертикального навантаження транспортних засобів за високих літніх температур.

Методи дослідження – аналітично-експериментальні з використанням положень теорії пружнопластичності і термов'язкопружності та експериментальних методів дослідження утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу; чисельного моделювання; математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше отримано залежність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку стійкості покриття до утворення колії;

– удосконалено метод оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів з урахуванням термов'язкопружньо-пластичних властивостей матеріалу;

– отримали подальший розвиток такі методи як: визначення термов'язкопружнопластичних показників властивостей асфальтобетону, що необхідно для здійснення розрахунків з прогнозування утворення колії на покритті; стендові дослідження асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на утворення колії, що дозволяє оцінити її зміноутворення в залежності від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті проведених досліджень розроблена методика з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів на всіх етапах життєвого циклу покриття: проектування складу асфальтобетонних сумішей та контролю якості їх складових; проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу; технології приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування покриття.

Окрім того:

– удосконалено методику розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття;

– удосконалено технологію приготування ґрунтових, ґрунтово-піщаних, щебенево-піщаних та щебених сумішей, оброблених мінеральним, органічним або комплексним в'язучим;

– запропоновано заходи з контролювання властивостей асфальтобетонної суміші при її виготовленні, транспортуванні, укладанні та ущільненні, з метою підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії;

Розроблено вимоги та нормативи:

- вимоги до матеріалів асфальтобетонного покриття та параметрів його конструкції;
- типові конструкції нежорсткого дорожнього одягу підвищеної довговічності з урахуванням різних категорій автомобільних доріг та кліматичних умов;
- нормативно-технічні документи: Р. В.2.3-218-21476215-795:2011 «Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття», Р. В.2.3-218-21476215-222:2011 «Рекомендації щодо застосування асфальтобетонних сумішей, армованих мікрОВОлокнами», Р. В.3.1-218-21476215-798:2011 «Рекомендації щодо аналізу інформації за результатами моніторингу стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг у тому числі для СУСП»; СОУ 42.1-37641918-99:2013 «Дорожньо-будівельні матеріали. Метод визначення розрахункового опору розтягу при згині. Монолітних дорожньо-будівельних матеріалів»; Р. В.2.3-21476215-863:2015 «Рекомендації з проектування дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування»; «Концепція реконструкції та модернізації кільцевого випробувального стенду»; Довідник №2 «Розрахункових характеристик асфальтобетонів», якими поповнено Фонд галузевих будівельних норм та нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України;
- рекомендації щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг України, а саме: при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі, в Чернігівській області (км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342); при капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-06 Київ – Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+000 в Житомирській та Київській областях; на автомобільній дорозі державного

значення М 21 Житомир – Могилів-Подільський на ділянці км 4+000 – 35+800; на автомобільній дорозі М 03 Київ – Харків – Довжанський.

Результати наукових досліджень впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при підготовці:

– фахівців за напрямом «Будівництво та цивільна інженерія» з фахового спрямування (спеціалізації) «Автомобільні дороги і аеродроми», «Мости і транспортні тунелі», «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів». В лекційних курсах з дисциплін «Асфальтобетон», «Органічні в'язучі», «Будівельне матеріалознавство», «Інноваційні технології виготовлення матеріалів», «Укріплення ґрунтів», «Технології та матеріали для особливих умов» запропоновані методи та методики з оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії для проведення лабораторних занять, курсового і дипломного проектування, виконання магістерських науково-дослідних робіт.

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача

Дисертація є самостійно виконаним науковим дослідженням. Наукові результати, що містяться в роботі, отримані автором особисто, в тому числі розроблено, досліджено та практично апробовано удосконалений метод оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії на автомобільних дорогах України.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, викладених у даній дисертаційній роботі, полягає в тому, що:

– проведено аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії [6, 10, 11, 27, 65, 116, 119, 127, 139, 155];

- встановлено аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах [10, 163, 165 – 167];
- експериментально досліджено розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів [6, 11, 116, 127, 139, 163, 176, 184];
- експериментально досліджено укріплених ґрунтів [11, 27, 116, 155, 163, 176];
- експериментально досліджено міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві [6, 10, 127];
- проведено лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії [6, 11, 116, 119, 127, 139, 163, 176, 184];
- встановлено закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу [6, 10, 11, 27, 65, 116, 119, 123, 127, 155, 165 – 167, 175, 184];
- розроблено практичні рекомендації щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії [6, 10, 11, 27, 65, 116, 119, 123, 127, 155, 165 – 167, 175, 184].

Апробація результатів дисертації

Основні наукові положення та практичні результати дисертаційних досліджень доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на науково-практичних та науково-технічних, міжнародних, республіканських і конференціях закладів вищої освіти та семінарах, серед яких: на міжнародній науково-технічній конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів», 2010 р. Харків, Україна; на міжнародній конференції «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» 20 – 21 вересня 2012 р., Одеса, Україна; на науково-технічній конференції «Сучасні тенденції та напрямки будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг та

штучних споруд», присвяченої 50-річчя республіканського дочірнього унітарного підприємства «Білоруський дорожній науково-дослідний інститут «БелдорНДІ, м. Мінськ, Білорусь»; на міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні комп'ютерно – інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів» 1 – 2 листопада 2012 р., ХНАДУ, Харків, Україна; на міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг», 2013 р. Харків, Україна; на семінарі «Наукові та практичні аспекти застосування технологій стабілізації ґрунтів та холодного ресайклінгу», 25 червня 2014 р., Укравтодор, Київ, Україна; на міжнародній конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» 3 – 6 червня 2015 р., Одеса, Україна; міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг і мостів «Автодорекспо» №№ 12 – 13, Київ – 2014 – 2015 рр.; на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 66 – 74 в 2010 – 2018 рр.

Публікації

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 18 друкованих робіт, у тому числі: 9 статей у фахових виданнях, 1 у закордонному виданні, 6 публікацій в працях і матеріалах наукових конференцій, 5 без співавторів та 2 свідоцтва на науковий твір.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ СТОСОВНО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ

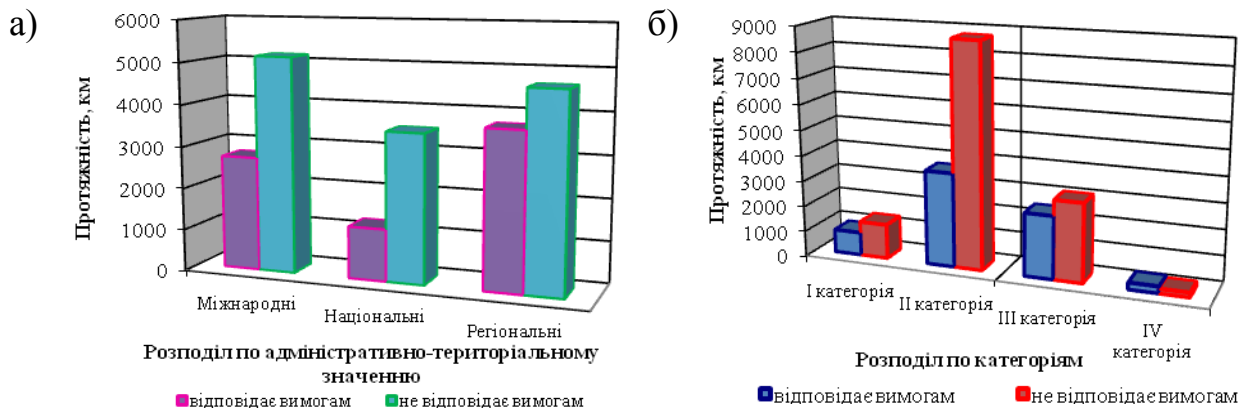
1.1 Основні передумови дослідження

Під час експлуатації автомобільної дороги в результаті впливу природно-кліматичних факторів, характеристики будівельних матеріалів та постійного зростання інтенсивності руху зі швидкістю і вантажопід'ємністю автотранспортних засобів, конструкція дорожнього одягу, навіть при дотриманні норм проектування та будівництва, втрачає поздовжню та поперечну рівність. В ній відбувається інтенсивне накопичення пластичних деформацій, в наслідок чого різко підвищується динамічний вплив від руху автомобілів на конструкцію дорожнього одягу та знижується безпека руху.

Не в повній мірі вивчені причини стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, що не дозволяє прийняти ефективні заходи щодо попередження цього явища або своєчасного ремонту пошкоджених ділянок покриття.

Вирішення питання щодо утворення колії на асфальтобетонному покритті автомобільних доріг є важливою національною проблемою дорожньої галузі України, на що спрямован напрям і завдання державних науково-технічних програм: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382) [1, 2]. Тому в дисертаційній роботі вся увага приділяється вивченню проблем колійності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Результати аналізу транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг України наведені нижче на рис. 1.1 [3, 4].



а) в залежності від адміністративно-територіального значення; б) категорії

Рисунок 1.1 – Результати аналізу нерівностей асфальтобетонного покриття

При експлуатації дорожнього покриття на його поверхні з'являються й накопичуються різні пластичні деформації у вигляді колії (рис.1.2), що пов'язане з недостатньою деформаційною стійкістю асфальтобетонних шарів, незв'язних шарів та основи конструкції дорожнього одягу [5, 6].

Колія є результатом деформування поперечного профілю проїзної частини у вигляді поглиблень по смугах накату із гребенями або без гребенів випору (рис. 1.2) [6 – 12].

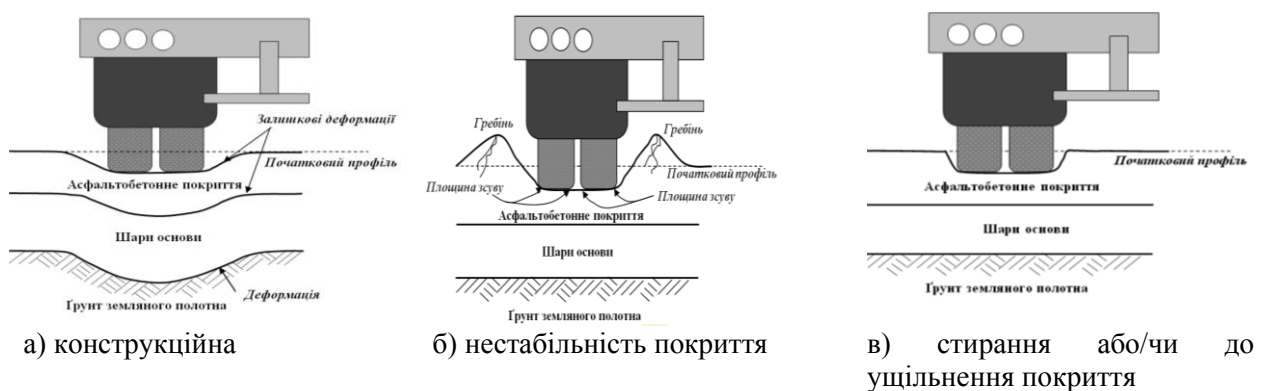


Рисунок 1.2 – Види утворення колії на поверхні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу

Процес утворення колії супроводжується накопиченням залишкових деформацій і структурних руйнувань і може відбуватися як в одному, так й у декількох шарах дорожньої конструкції, рисунок 1.3 [13, 14].



Рисунок 1.3 – Натурне дослідження пошарового утворення залишкових деформацій в шарах конструкції нежорсткого дорожнього одягу

Результати досліджень [4, 5, 8, 9, 15 – 38] вказують, що пластичні деформації асфальтобетонного покриття пов'язані із числом циклів впливу навантаження, тривалістю навантаження, величиною навантаження на вісь, властивостями асфальтобетону й природньо-кліматичними умовами.

Конструкція нежорсткого дорожнього одягу сприймає різні види статичного й динамічного впливу від навантаження коліс автомобільного транспорту, що призводить до зворотних та незворотних деформацій, від характеру й величини яких залежить термін служби [10, 31] автомобільної дороги.

Тенденція навантаження на конструкцію дорожнього одягу, свідчить про вплив великовантажних транспортних засобів з осьовими навантаженнями, що перевищують розрахункове, установлене діючими нормативними документами на проектування нежорстких дорожніх одягів [39, 40]. Недооцінка впливу величини транспортного потоку приводить до зниження міцності дорожньої конструкції, що проявляється в передчасній деформації дорожнього покриття.

Результати дослідження [34] впливу зволоження ґрунту земляного полотна й ряду матеріалів, використовуваних в нежорсткому дорожньому одязі, спричиняє зниження їх міцнісних і деформативних показників, що суттєво впливає на утворення колії у верхніх шарах дорожнього одягу.

Недостатня зсувостійкість шарів асфальтобетонного покриття приводить до перерозподілу матеріалу покриття, сприяючи більше на інтенсивне утворення колії. При цьому відбуваються стирання верхнього шару покриття в смузі накату, відшаровування верхнього шару, пластичне деформування шарів дорожнього покриття [6, 10, 34, 41, 42 та інші].

Причину утворення колії на поверхні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу, можна розділити на види [24, 27, 38]:

1. Незадовільні властивості асфальтобетону конструктивних шарів та підґрунтовки, до існуючих вимог експлуатації асфальтобетонного покриття. Внаслідок чого виникають напливи, зсуви, хвилі.

2. Доущільнення конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу, викликане впливом навантаження від транспортних засобів (рис.1.2).

3. Стирання верхнього шару асфальтобетонного покриття, від дії коліс транспортних засобів (рис.1.2).

4. Виникнення залишкових деформацій асфальтобетонного покриття та основи (рис.1.2). Це відбувається внаслідок осідання і додаткового ущільнення конструктивних шарів дорожньої конструкції від дії великовагових транспортних засобів при високій літній температурі та незадовільних фізико-механічних властивостей асфальтобетону.

5. Накопичення залишкових деформацій у незв'язних або слабозв'язних шарах, розташованих нижче шарів покриття, та в земляному полотні (рис.1.2).

6. Виникнення залишкових деформацій в наслідок впливу природно-кліматичних факторів. Характерними причинами деформування асфальтобетонного покриття являється низька водо-, морозостійкість асфальтобетону, зсув перезвожених дискретних матеріалів та ґрунтів.

Ґрунтуючись на вищесказаному, варто враховувати, що на утворення колії впливають всі фактори, що викликають напруження та деформації матеріалів конструкції нежорсткого дорожнього одягу, хоча значимість кожного фактора дотепер точно не виявлена.

Розглянуто та наведено стан проблем експлуатації асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, проаналізовано роботи з впливу різних факторів на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, існуючі типові конструкції дорожніх одягів, моделі та методи розрахунку покриття, а також існуючі способи підвищення його довговічності.

Досвід останніх років експлуатації автомобільних доріг показує, що одним з найпоширеніших дефектів на асфальтобетонному покритті від транспортного навантаження та високої літньої температури є колія, яка призводить до зменшення його строку служби, а відповідно і всієї конструкції дорожнього одягу в цілому.

Головною причиною утворення колії на асфальтобетонному покритті є та обставина, що більшість доріг були запроектовані під розрахункові навантаження групи А (100 кН на вісь) та групи Б (60 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації автомобільних доріг, зростає не тільки інтенсивність руху, але і збільшуються параметри транспортного навантаження.

1.2 Критерії і методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

В сучасній практиці, виділяються три групи найбільш вживаних методик для розрахунку багат шарових несучих конструкцій, які прийняті для розрахунку дорожнього одягу, серед них: чисельний метод [15, 43], що базується на системі автоматизованого проектування [44]; рішення, що отримані для багат шарової плити (пластини) на пружній основі [8] та рішення [34], що базуються на теорії пружного напівпростору [45, 46].

За результатами досліджень Александрова А. С. [47], Богуславського А. М., Васильєва А. П. [5, 48], Горячева М. Г. [28], Жустарева Е. В. [49], Коганзона М. С. [48], Казарновського В. Д. [50], Канигіна С. Ю. [51], Кирюхіна Г. Н. [52], Радовського Б. С., Руденського А. В., Смирнова А. В. [34, 53, 54], Пилипенка А. С., Петровича П. П., Жданюка В. К., Матуа В. П. [21, 55], Мевлідінова З. А. [56], Чирви Д. В., Фадеева В. Б. [57], Лугова С. В., Яковлева Ю. М. [58] та інших [59 – 62] виявлено наступні недоліки методики проектування нежорсткого дорожнього одягу [39]:

- отримання завищеного значення показників напружено-деформованого стану окремих шарів одягу (невідома величина похибки) [17];
- тривалість дії навантаження у величинах динамічних модулів пружності матеріалів шарів конструкції не в повній мірі відповідає реальній тривалості навантаження на конструкцію дорожнього одягу [55, 56];
- не може бути достатньо достовірно врахований модуль пружності асфальтобетонного покриття і шарів основи [50, 52];
- можливі зміни коефіцієнту Пуасона враховані недостатньо [63, 64];
- при розрахунках не враховано функцію релаксації асфальтобетону та матеріалів конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу, а також модуль пластичності та деформації асфальтобетону [63, 65];
- під час розрахунків на тривалий вплив навантаження не використовується в'язко-пружна модель, яка дозволить оцінити як залишкові деформації, так і залишкові напруження після зняття навантаження [53, 54];
- не враховано вплив часу дії транспортних засобів на дорожній одяг і характер напружено-деформативного стану [34, 53, 54];
- не досліджено вплив зміни по глибині переміщень шарів конструкції нежорсткого дорожнього одягу в залежності від температури та навантаження [10, 11];
- відсутня методика розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів

конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії [15];

– відсутня сучасна методика розрахунку та оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії [11].

Розглянуто та проаналізовано роботи з проблем деформування та утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії транспортних засобів та температури, внесли такі вчені: Александров А. С., Батракова А. Г., Біруля О. К., Белятинський А. О., Богуславський А. М., Бонченко Г. О., Борщ І. М., Братчун В. І., Васільєв О. П., Веренько В. А., Вікович І. А., Волков М. І., Воловик О. О., Гамеляк І. П., Гезенцвей Л. Б., Гоглідзе В. М., Головка С. К., Горелишев М. В., Гохман Л. М., Жданюк В. К., Золотарьов В. О., Іванов М. М., Казарновський В. Д., Кияшко І. В., Корольов І. В., Ковальов Я. М., Колбановська А. С., Кірічек Ю. О., Лапченко А. С., Марчук О. В., Матуа В. П., Мозговий В. В., Негомедзянов А. А., Онищенко А. М., Павлюк Д. О., Печьоний Б. Г., Радовський Б. С., Руденська А. В., Савенко В. Я., Сібільський Д., Смірнов В. М., Стьожка В. В., Сюньї Г. К., Титаренко О. М., Телтаєв Б. Б., Хархута М. Я., Шуляк І. С., Barksdale R. D., Gachwendt I., Gidel, Hushek S., Huurman M., Erlingsson S., Korkiala-Tantt L., Lizenga J., Lytton R.L., Nielsen J., Nijboer L.W., Tseng K-H., Poliacsek I. та інші дослідники. Аналіз показав, що недостатня стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії суттєво знижує як міцність всієї конструкції дорожнього одягу, так і особливо рівень безпеки руху за рахунок створення ефекту аквапланування в місцях застою води та зимової слизькості.

Результати досліджень [34], свідчать, зі збільшенням швидкості тривалість напружено-деформованого стану дорожнього одягу в кожній її точці зменшується через в'язкість матеріалів шарів і ґрунту земляного

полотна, їх модулі пружності збільшуються, в результаті зростає і загальний модуль пружності конструкції [34, 53, 54].

Поведінка шарів покриття при короткочасній дії навантаження в теперішньому часі вивчено мало, що ускладнює облік цих явищ в розрахунку дорожніх конструкцій і випробувань матеріалів, з яких вони влаштовуються [73].

Покриття нежорстких дорожніх одягів під навантаженням від колеса автомобіля деформуються з утворенням кривої, прогинів, описуваної рівнянням Корсунського М. Б. [34, 66].

За своєю природою деформації на покритті утворюються поступово за рахунок накопичення необоротних мікродеформацій. Дослідженнями залежності розвитку деформації від певного напруження широко описані в роботах Ребіндера П. А. та його учнів [73].

Гезенцвей Л. Б. [5] стверджував, що при напруженні, що постійно діє, розвиток деформацій в часі в пружно-пластичних матеріалах залежить від величини напруження і пропонує розглядати два випадки:

Перший випадок, коли напруження P , що діє, достатньо мале і менше межі пружності або межі текучості, тобто $P < P_k$. В цьому випадку в тілі, що деформується, розвиваються тільки оборотні деформації, що підрозділяються на два типи: а) пружна деформація ε_0 , що підкоряється закону Гуку. Вона виникає після прикладання навантаження миттєво із швидкістю розповсюдження звуку в даному матеріалі із такою ж швидкістю спадає після зняття навантаження; б) деформація пружної післядії ε_e , вона поволі розвивається після прикладання напруження і так же поволі спадає після зняття напруження. В пружній деформації першого типу після зняття напруження первинна геометрична форма повністю відновлюється (рис. 1.4 а).

Другий випадок, коли напруження P , що діє, перевищує межу текучості, але менше P_k , та менше граничного напруження P_m , що викликає руйнування матеріалу. В цьому випадку в матеріалі, що деформується, при

достатньо тривалому часі (що перевищує час протягом якого розвивається еластична деформація) розвивається ще один тип деформації – деформація в'язкої і пластичної течії, що є необоротною $\varepsilon_{ост}$ (рис. 1.4 б).

Вивчаючи деформаційні характеристики асфальтобетону (модуль пружності (умовно миттєвий або початковий модуль пружності, модуль еластичності, рівноважний модуль), в'язкість (найбільша гранична в'язкість, найменша в'язкість, ефективна в'язкість, пластична в'язкість і в'язкість пружної післядії), час релаксації напруження, межа текучості) Гезенцевей Л. Б. запропонував схему деформації в пружно-в'язкому тілі при багатократному прикладанні навантажень (рис. 1.5).

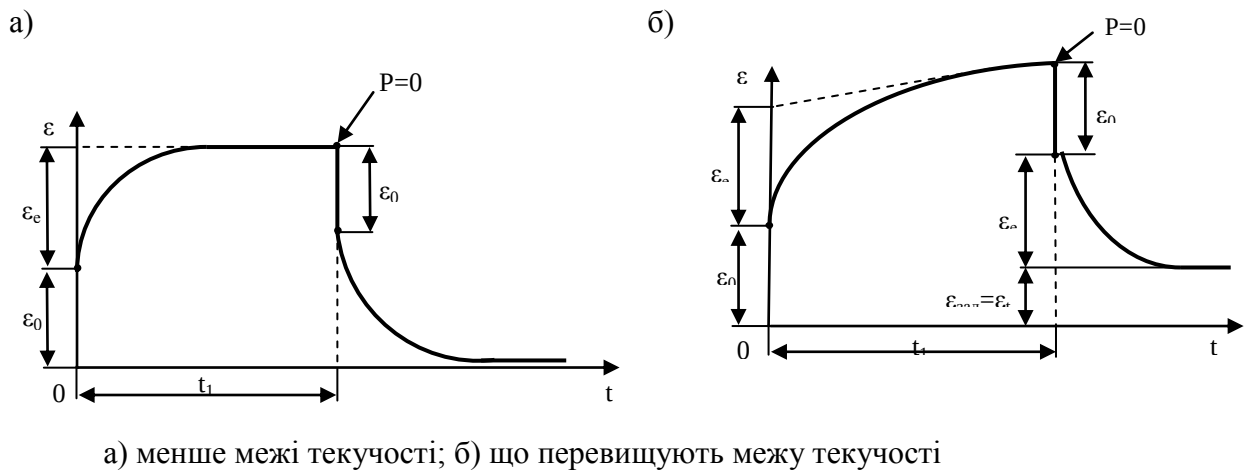


Рисунок 1.4 – Розвиток деформацій при напруженні

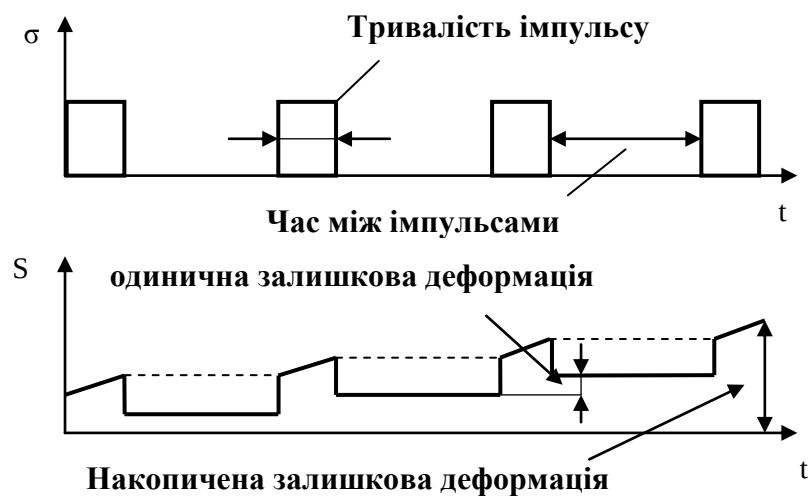


Рисунок 1.5 – Схема деформації в пружно-в'язкому тілі при багатократних прикладаннях навантаження

Представлена схема (рис. 1.5) найбільш показово описує процес накопичення залишкових деформацій в асфальтобетоні і найточніше характеризує режим вантаження асфальтобетону в покритті.

Радовським Б. С. було отримано [34] рішення задачі про напружено-деформований стан дорожнього одягу як шаруватого лінійного в'язкопружного ізотропного півпростору, по поверхні якого рухається постійна по величині навантаження, рівномірно розподілена по площі круга.

Супруном А. С. [35] отримано наближений спосіб розв'язання задачі напруження, деформації і переміщення, що виникають у дорожньому одязі як шаруватому лінійному в'язкопружному безінерційному півпросторі, по поверхні якого рухається нормальне навантаження, рівномірно розподілене по площі круга, траєкторія руху, величина і швидкість якої змінюється за довільним законом.

В роботі Негомедзянова А. А. [18] запропоновано розрахункову схему визначення величини утворення колії на поверхні дорожньої конструкції (рис. 1.6) та запропоновано залежність визначення залишкових деформацій конструкції дорожнього одягу (1.1).

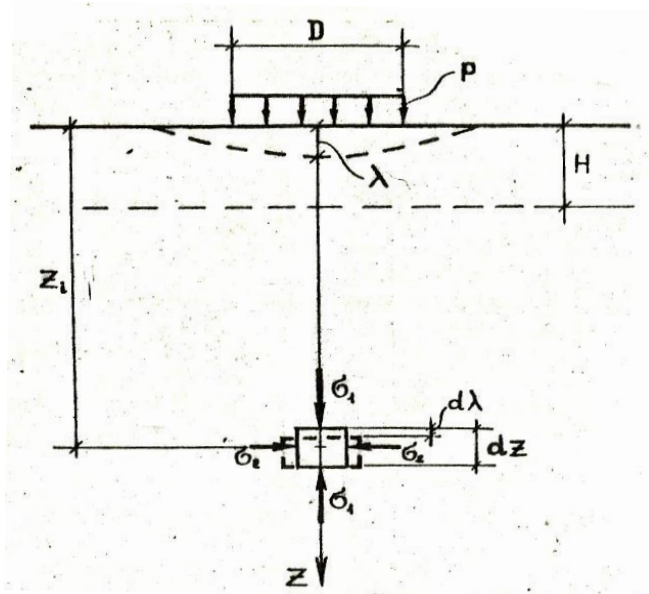


Рисунок 1.6 –
Розрахункова схема визначення величини утворення колії на поверхні дорожньої конструкції л, Негомедзянова А. А. [18]

$$\lambda = \alpha + i \cdot \lambda g N, \quad (1.1)$$

де α – параметр, що визначає величину залишкової деформації при початковому прикладанні навантаження;

i – коефіцієнт інтенсивності накопичення залишкових деформацій;

N – кількість прикладених навантажень;

λ – сумарна відносна залишкова деформація.

Недоліком запропонованого підходу, являється фактор неврахування залишкових деформацій, що виникають в асфальтобетонному покритті дорожньої конструкції. Для прогнозування утворення колії в покритті беруться до уваги, лише залишкові деформації ґрунтової основи, автор [18] вважає, що залишкові деформації асфальтобетону незначні та їх можна нехтувати.

Авторами [32, 34, 35] в'язко-пружні властивості матеріалів шарів дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна було охарактеризовано функціями: зсувною релаксацією $R_c(t)$ і об'ємною релаксацією $R_v(t)$. При виконанні розрахунків, об'ємна деформація вважалася пружною (Додаток А, Таблиця А.1, (А.1) та (А.2)).

Дослідження Титаренка А. М. [32] дали змогу запропонувати визначення деформацій дорожнього одягу на основі вивчення властивостей матеріалів конструкції та параметрів навантаження (рис. 1.7).

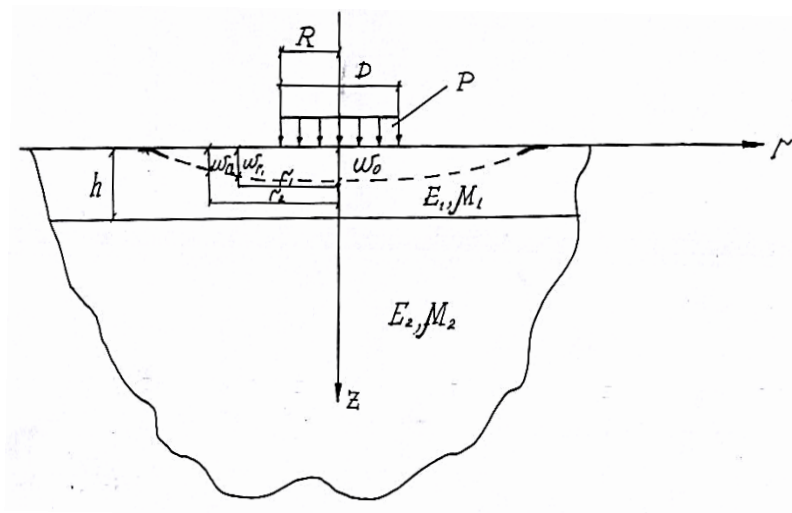


Рисунок 1.7 – Розрахункова схема деформації дорожнього одягу на основі розподілу чаші прогину, запропонована Титаренком А. М. [32]

Автором [32] не в повній мірі враховано розрахункові характеристики матеріалів покриття та основи, що в свою чергу не дає можливості визначити сумарне накопичення залишкових деформацій покриття.

Іванов Н. Н. стверджував [74], що стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії забезпечується, якщо розрахункова дія напруження σ не перевищує опір матеріалу до вдавлювання q , та задовольняється умова міцності R бітумомінерального матеріалу при стиску (Додаток А, Таблиця А.1, (А.3)).

Гезенцевей Л. Б. [5], розглядав асфальтобетон як пружньо-в'язке тіло Максвелла, отримав вираз, що дає змогу визначити величину відносної залишкової деформації покриття, що виникає від дії транспортних засобів при підвищених температурах (Додаток А, Таблиця А.1, (А.4)).

Запропонований Антиповим В. Н. метод [46] базується на визначенні колії в асфальтобетонному покритті через визначення зсувостійкості асфальтобетонних шарів, ґрунтується на застосуванні емпіричної формули, що в свою чергу визначає товщину зсувостійкого покриття h (Додаток А, Таблиця А.1, (А.5)), що в свою чергу має ряд недоліків та складності обрахунку.

При прогнозуванні стійкості до утворення колії через зсувостійкість асфальтобетону існує достатньо велика кількість критеріїв оцінки зсувостійкості асфальтобетонного покриття, до яких відноситься щеплення асфальтобетонних шарів, коефіцієнт внутрішнього тертя, реологічні характеристики та інші [61]. Однак дані підходи не в повній мірі враховують властивості асфальтобетону та практично не враховують властивості всіх матеріалів конструкції.

Авторами [69 – 71] запропоновано метод, що ґрунтується на використанні розрахунку пружних деформацій для підрахунку напружень у асфальтобетонному покритті, що отримав назву – *layered-strain procedure* (метод пошарових деформацій).

Вплив доущільнення асфальтобетону на утворення колії в покритті практично не враховується [75], оскільки воно має порівняно малий вплив на утворення колії на поверхні асфальтобетонного шару, якщо асфальтобетонний шар ущільнено до вмісту повітряних пор не більше 8 %. При простому навантаженні пластична деформація зсуву в асфальтобетоні вважається такою, що накопичується згідно з наступним виразом (Додаток А, Таблиця А.1, (А.8, А.9)).

Оцінка накопичення повторних навантажень, що базуються на гіпотезі подібності процесів повзучості та накопичення деформацій за рахунок багатократного прикладання навантаження, запропонована Хархутою Н. Я., яку він отримав при дослідженні ущільнення ґрунтів [76], а удосконалили гіпотезу Васильєв А. П., Коганзон М. С., Яковлев Ю. М., для прогнозування залишкових деформацій, що накопичуються в конструкції нежорсткого дорожнього одягу з подальшим розробленням рекомендацій щодо розрахунку глибини колії асфальтобетонного покриття [77].

Прогнозування накопичення залишкових деформацій можливо виконати за допомогою емпіричних формул [58, 78] та феноменальних методів [79], котрі в свою чергу можна поділити на групи [80].

В роботі Казарновський В. Д. [80] запропонував математичну модель процесу накопичення залишкових деформацій при впливі повторного штампового навантаження на шаруватий півпростір (Додаток А, Таблиця А.1, (А.10)).

Гшвенд І. [81] розробив модель для визначення залишкових деформацій на поверхні дорожнього одягу залежно від числа проходів транспортного навантаження з урахуванням деформаційних властивостей матеріалів [81] (Додаток А, Таблиця А.1, (А.11)).

Кірюхін Г. Н. [52] запропонував визначення залишкових деформацій в асфальтобетонних покриттях за допомогою наступної залежності (Додаток А, Таблиця А.1, (А.12)).

Васильєвим А. П. [48] запропонована модель визначення відносної величини залишкової деформації (Додаток А, Таблиця А.1, (А.13)). За кожен останній рік відносна деформація підсумовується, якщо не були виконані роботи з усунення колії. Абсолютна залишкова (пластична) деформація в шарі асфальтобетону (Додаток А, Таблиця А.1, (А.14)).

В рекомендаціях [58] для визначення залишкових деформацій в шарі асфальтобетону визначеної товщини h використана залежність [85, 86] (Додаток А, Таблиця А.1, (А.15, А.16)).

В методиці [78] для розрахунку ймовірної глибини колії на асфальтобетонному покритті h_p (Додаток А, Таблиця А.1, (А.17)). Однак дана методика розрахунку, має ряд неточностей, головною серед яких є врахування не в повній мірі властивостей асфальтобетону.

Залишкові деформації за європейським методом Веверки [82] визначаються за формулою, що наведена (Додаток А, Таблиця А.1, (А.18)). А залишкові деформації в земляному полотні з дрібнозернистих ґрунтів визначаються за формулою, що наведена (Додаток А, Таблиця А.1, (А.19)).

За американським методом Фіна [83] величину колії визначають за допомогою прогиноміра.

За методом Хушека [84] величину залишкових деформацій визначають за реологічною моделлю Максвела (Додаток А, Таблиця А.1, (А.20)).

В дослідженнях [82] реакція елементів конструкції дорожнього одягу, що піддаються переміщенням осевого навантаження виражається деформацією, де загальна деформація розділена на пружну (еластичну) деформацію і пластичну деформацію (Додаток А, Таблиця А.1, (А.21)). Тим не менш, покриття зазнає велику кількість циклів навантаження і пластичні деформації накопичуються від кількості циклів i , як кількість повторень навантаження збільшує його деформація [82, 85, 86] (Додаток А, Таблиця А.1, (А.22)).

У роботах [87 – 98] визначення залишкових деформацій на поверхні покриття базується на обчисленні залишкових деформацій на кожному шарі

конструкції j , який в свою чергу ділиться на i - тий підшар, в результаті, накопичення залишкових деформацій ω_p буде мати вигляд (Додаток А, Таблиця А.1, (А.23)).

Модель накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонних шарах [88, 89] буде мати вигляд (Додаток А, Таблиця А.1, (А.24)), дану модель було вдосконалено Tseng К-Н. та Lytton R. L. [92, 99] (Додаток А, Таблиця А.1, (А.25)). Автор Erlingsson S. [82, 86] описав дану залежність (Додаток А, Таблиця А.1, (А.26)), що зображується графічно, рис. 1.8.

Запропоновані модель Erlingsson S. не є достатньо точною для прогнозування фактичного утворення колії, крім того має велику кількість емпіричних коефіцієнтів, що в свою чергу підвищує рівень похибки.

Базуючись на попередніх дослідженнях Gidel [92] визначив модель накопичення пластичних деформацій в незв'язних шарах (Додаток А, Таблиця А.1, (А.27)) та Korkiala-Tanttu, L. [93] запропонував модель (Додаток А, Таблиця А.1, (А.28)).

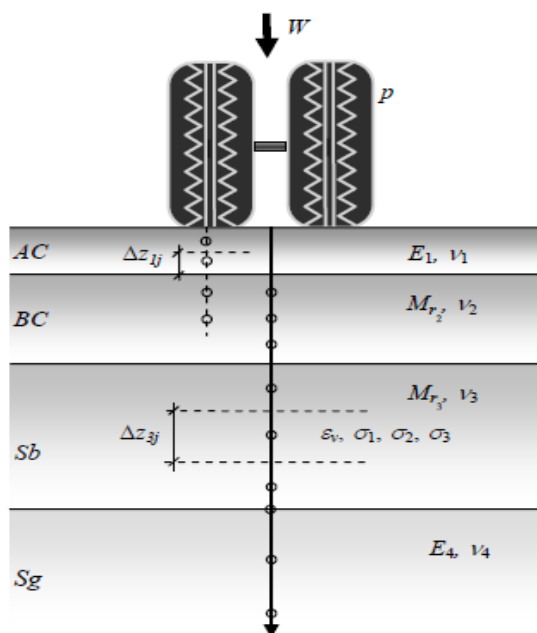


Рисунок 1.8 – Вертикальна вимушена деформація в основі, внаслідок транспортного навантаження на поверхні

Модель накопичення залишкових деформацій в основі дорожнього одягу Tseng К-Н., Lytton R. L. [92, 99] виразив через залежність (Додаток А, Таблиця А.1, (А.30)) та запропонована розрахункова схема рис. 1.9.

Запропонована моделі не отримали широкого вжитку через нерозкритість ряду кількісних коефіцієнтів, які в свою чергу мають складність отримання. Окрім цього, частина з них не враховує різний час дії навантаження, термореологічні властивості, температуру, вид в'язучого, гранулометричний склад.

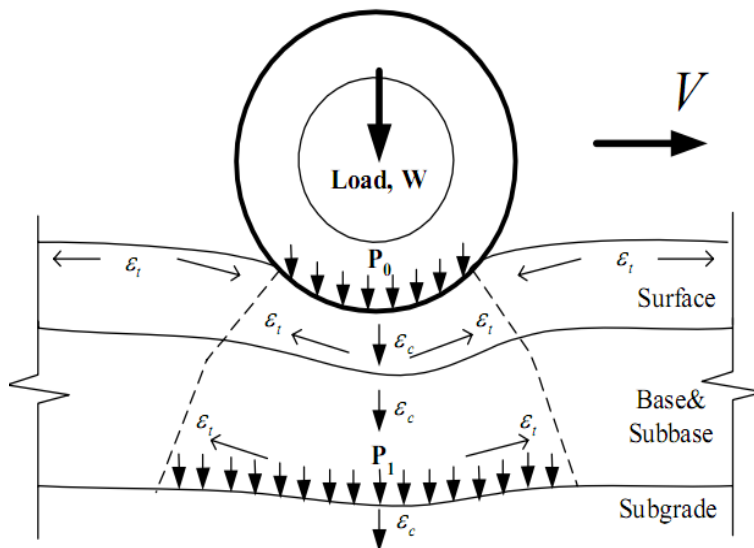


Рисунок 1.9 –
Розрахункова схема
утворення колії дорожнього
одягу

Аналіз дослідження залишкових деформацій в конструктивних шарах: Смірнов А. В., Малишев А. А., Агалаков Ю. А. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.30))., Мевлидинов З. А., Лугов С. В. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.31))., Мевлидинов З. А. Лугов С. В. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.32)), свідчить що не в повністю враховуються термореологічні властивості матеріалів, що не дає можливість в повній мірі прогнозувати утворення колії в конструкції дорожнього одягу.

В роботі Лугова С. В. [58] запропоновано визначення залишкових деформацій конструкції дорожнього одягу за рахунок підсумування залишкових деформацій в усіх конструктивних шарах (рис. 1.10).

Даний підхід має ряд неточностей та не враховує розрахункових термореологічних властивостей матеріалів конструкції дорожнього одягу, часу дії навантаження.

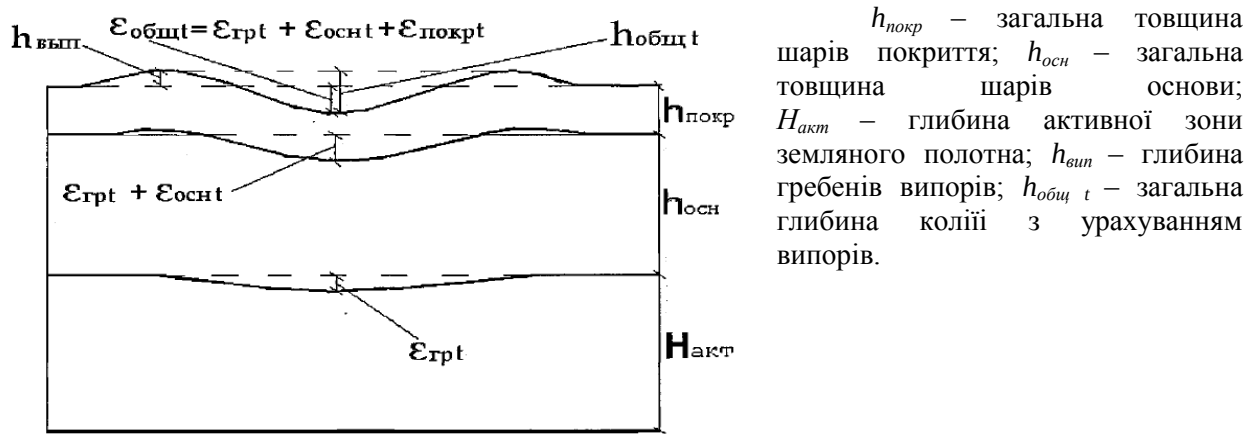


Рисунок 1.10 – Розрахункова схема утворення колії дорожнього одягу за Луговим С. В. [58]

Загальна глибина колії визначається за виразом (1.2).

$$h_{\text{общt}} = \varepsilon_{\text{нont}} + h_{\text{вып}}, \quad (1.2)$$

де $h_{\text{вып}}$ — глибина гребенів випорів;

$\varepsilon_{\text{нont}}$ — залишкова деформація в поперечному напрямку;

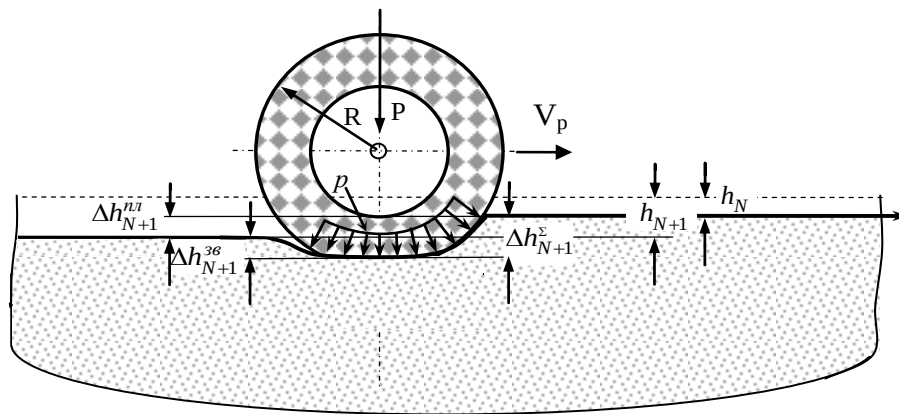
$h_{\text{общt}}$ — загальна глибина колії з урахуванням випорів.

Експериментальні дані кінетики пластичного деформування апроксимувались функціями повзучості з наступним поданням часу впливу навантаження одного циклу на загальне число навантажень, як результат створені моделі, серед авторів: Хархута Н. Я. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.33))., Канигіна С. Ю. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.34))., Фадеев В. Б. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.35)), Жустарева В. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.36), Горячев М. Г. (Додаток А, Таблиця А.2, (А.37)).

Визначення залишкових деформацій, в результаті обрахунку повторність прикладання навантаження за допомогою експериментальних функцій отриманих на основі апроксимації дослідних даних наведено в (Додаток А, Таблиця А.3). Пластичні деформації затухаючого характеру

описані в міру збільшення числа реалізованого навантаження. За рахунок експериментальних досліджень, можна сказати, що при впливі повторних навантажень пластичне деформування матеріалів і ґрунтів можуть мати загасаючий, сталий або прогресуючий характер [96 – 114]. Наявність сучасного обладнання дозволяє виконувати багаторазове прикладання навантажень з різними траєкторіями напруження, що в свою чергу дозволило розробити велике число моделей (Додаток А, Таблиця А.3, (А.38 – А.57)).

В результаті досліджень Онищенко А. М. [8], було розроблено схему утворення залишкових вертикальних деформацій від прокочування пневматичного колеса транспортних засобів по асфальтобетонному покритті з урахуванням часу дії навантаження та термореологічних властивостей матеріалів (рис. 1.11), кількості підґрунтовки та температурного режиму (1.3), однак дану модель була запропонована для асфальтобетонного покриття мостів автомобільних доріг, але не для конструкції нежорсткого дорожнього одягу.



R – радіус пневматичного колеса; P – навантаження від колеса на опорну поверхню; p – тиск від відбитку протектора шини на опорну поверхню; V_p – швидкість руху колеса; h_N – глибина колії після попереднього N -го проходу колеса; h_{N+1} – глибина колії після наступного $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{Σ} – приріст повної деформації ($\Delta h_{N+1}^{np} + \Delta h_{N+1}^{3e/n} + \Delta h_{N+1}^{pl}$) після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{pl} – приріст пластичної деформації після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{3e} – приріст зворотної деформації після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{np} – приріст пружної деформації після $N+1$ проходу колеса; $\Delta h_{N+1}^{e/n}$ – приріст в'язкопружної деформації після $N+1$ проходу колеса

Рисунок 1.11 – Схема утворення залишкових вертикальних деформацій від прокочування пневматичного колеса транспортних засобів по асфальтобетонному покритті, за дослідженнями Онищенко А.М. [8].

$$h_{N+1} = \frac{1}{2} \cdot (\beta \cdot c_p \cdot R)^{\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{3 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{\bar{\Psi}_T(t', T) \cdot a_1^4}{H_{a/\delta} \cdot R \cdot b} \cdot \left(\sqrt{\frac{c_p + \beta}{c_p}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot [1 + \vartheta \cdot (N-1)^k]^\gamma \cdot W \cdot K_k \quad (1.3)$$

де $\bar{\Psi}_T(t', T)$, $\Psi_T^D(t', T)$, $a_T(T)$ – відповідно середньоінтегральне значення по товщині функції релаксації, деформації (Pa) та температурно-часової аналогії асфальтобетону;

p_0 – тиск повітря в пневматичній шині, Па;

W – функція, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів (вид функції і параметрів встановлюється експериментально);

ϑ , k , γ – параметри, що встановлюються експериментально і відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії в асфальтобетоні при повторному проїзді N колеса.

Аналіз методів оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, показав багатогранність існуючих підходів. В основі більшості з них лежить теоріє міцності, що не в повній мірі відображає оцінку протікання утворення колії, пов'язаного з пластичною деформацією, крім того в недостатній мірі враховані реологічні характеристики матеріалів конструкції, час дії навантаження, величина навантаження, температура та вологість матеріалів.

Існуючі моделі та методи з прогнозування утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу не в повній мірі враховують такі фактори, як: рецептурно-структурні, термореологічні властивості асфальтобетону, реологічні властивості ґрунтів, конструктивні, укріплених ґрунтів основи та їх властивостей, технологічні, кліматичні та транспортні фактори. Також істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, зокрема ВБН В.2.3-218-186-2004, є відсутність методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

Проведений аналіз робіт свідчить, що до теперішнього часу залишається відкритим питання врахування сумісного впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів на утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу при лабораторних і стендових експериментальних дослідженнях.

Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів урахування дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, який дає можливість зробити висновок про те, що на даний час не розроблено удосконалений метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

1.3 Існуючі експериментальні методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

На даний час головним завданням, сучасних випробувань є максимально приблизити експеримент до реальних умов роботи покриття, щоб результати експерименту можна було б вважати достовірними [6, 8, 13, 15, 21 – 23, 34, 36 – 38, 47, 48, 54, 56, 58, 60, 69, 71, 75, 115 – 133].

Існуючі методи випробування колісного навантаження можна поділяються на 2 основні групи:

I група – лабораторні методи випробування колісного навантаженням. Дана група методів призначена для проведення випробувань асфальтобетону на опірність до утворення колії прокатуванням колеса [6, 8, 13, 15, 21 – 23, 34, 36 – 38, 47, 48, 54, 56, 58, 60, 75, 118 – 127].

II група – це стендові методи випробування колісного навантаження на пересувних або стаціонарних установках. Особливістю таких методів

являється те, що асфальтобетон може випробовуватися як самостійно, так і в конструкції дорожнього одягу [6, 8, 13, 15, 21 – 23, 34, 36 – 38, 47, 48, 54, 56, 58, 60, 69, 71, 75, 115 – 133], додаток А.

Стендові методи були розроблені для імітації впливу колеса автомобіля на покриття і для визначення кореляції з лабораторними методами.

Однак, багаторічна дорожня практика багатьох країн показала, що найефективнішим способом оцінки стійкості покриття до утворення колії, нових науково-технічних розробок при ремонті, реконструкції і будівництві автомобільних доріг є випробування конструкцій дорожніх одягів на спеціальних випробувальних стендах і полігонах, згодом, у зв'язку з їх ефективністю, вони були прийняті в якості основних методів випробування конструкцій дорожніх одягів.

Можна виділити наступні основні задачі, вирішувані за допомогою стендів [6, 8, 13, 15, 21 – 23, 34, 36 – 38, 47, 48, 54, 56, 58, 60, 69, 71, 75, 115 – 133]:

- дослідження порівняльної міцності матеріалів покриття на знос чи згин під дією повторних навантажень (в деяких випадках при високих чи низьких температурах);
- дослідження закономірності розподілення напруження та деформацій в дорожніх одягах;
- дослідження показника вантажопропускної спроможності дорожніх конструкцій до їх повного руйнування під дією багаторазового повторного навантаження, величини та характеристики яких близькі до реальних.

Серед усіх існуючих стендів можна виділити дві великі групи – кільцеві та лінійні, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Так кільцеві стенди, як правило, є більш громіздкими, розташовані на відкритих територіях, що дозволяє використовувати для влаштування конструкцій дорожнього одягу традиційну техніку. Перевагою таких стендів є максимальне наближення умов випробувань до реальних умов на автомобільних дорогах. На відміну від кільцевих, лінійні стенди є

компактними та можуть розміщуватися у закритих приміщеннях, що дозволяє проводити випробування за будь-яких погодних умов і в умовах будівлі організовувати клімат для випробувальних секцій, підігріваючи покриття, наприклад, інфрачервоними лампами зверху. Однак рух колеса по поверхні покриття на таких стендах є зворотно-поступальним, в результаті чого, дійшовши до краю ділянки, колесо сповільнюється та, рухаючись у зворотному напрямку, починає розганятися, що дещо відрізняється від реальних умов руху транспортних засобів на дорозі. Характеристики деяких стендів наведено у таблиці А.4, додаток А [6, 8, 13, 15, 21 – 23, 34, 36 – 38, 47, 48, 54, 56, 58, 60, 69, 71, 75, 115 – 133].

Методи випробувань конструкцій нежорстких дорожніх одягів на великомасштабних стендах не дозволяють оперативно дати оцінку стійкості до колієутворення, так як мають більшу тривалість експерименту (у деяких випадках до декількох років). Аналіз результатів дослідження свідчить, що для визначення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно застосовувати комплексний підхід, застосування лабораторних, на основі результатів яких застосовувати стендові методи, окрім цього є необхідність в теоретичному визначенні інтенсивності утворення колії.

1.4 Існуючі способи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Сучасні рішення з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії поділяються на два основних напрямки – конструктивний та матеріалознавчо-технологічний [39, 40]:

- конструктивний – спрямований на раціональне конструювання дорожнього одягу з метою зниження розтягуючих напружень в шарах дорожнього одягу та підвищення довговічності;

– матеріалознавчо-технологічний – спрямований на регулювання складу і властивостей матеріалів з метою підвищення міцності і витривалості та застосуванні нових матеріалів і технологій для підвищення довговічності.

До конструктивного напрямку підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття відносять такі: збільшення зсувостійкості дорожнього покриття; збільшення жорсткості основ дорожнього одягу; застосування синтетичних сіток; забезпечення зчеплення між шарами дорожнього одягу.

Для приготування асфальтобетону підвищеної стійкості до утворення колії рекомендується використовувати бітум модифікований полімерними добавками [135 – 137].

Для підвищення теплостійкості асфальтобетону рекомендується використовувати модифікатори групи термопластів (Елвалой АМ, Полібілт, Еватане, Лотрел, Ломадере, Віскопласт та інші) [139 – 142].

Для підвищення теплофізичних та деформативних властивостей асфальтобетону рекомендується використовувати модифікатори, які надають бітуму підвищену еластичність – термоеластоласти типу СБС (ДСТ-30-01, ДСТ-30Р-01, Кратон, Вектор, Тайпол, Фінапрене, Європрене, Салпрене, Бутонал та інші) [139 – 142].

При приготуванні полімербітумного в'язучого рекомендується користуватись рекомендаціями, технологічними регламентами і специфікаціями виробників [135 – 137, 139].

Для покращення адгезивної активності бітуму, підвищення міцності, тепло- та зсувостійкості асфальтобетону, подовження строку служби асфальтобетонних покриттів рекомендується використовувати структуруючі добавки (Сособіт, Лікомонд та інші) [125, 135 – 137, 139].

Для забезпечення високих показників зчеплення бітуму з мінеральними матеріалами усіх порід, підвищення водостійкості асфальтобетону та строку служби покриття використовуються адгезійні добавки катіонного типу (УДОМ-2, Дорам, Андор, БП-3М, Азмол БП-3, Дорос-АП, КАП, Асcome 12L,

Вітфікс, Діаміне OLB, Індулін DF-41E, Цецабос, Полірам L200, Дінорама 184, Терамін та інші), які покращують зчеплення з мінеральними матеріалами [135 – 137, 143, 144].

При застосуванні полімербетонів вимоги до них узгоджуються з діючими нормативними документами на асфальтобетон [145 – 147].

Для підвищення зсувостійкості, термостійкості та довговічності дорожніх покриттів в умовах важкого та інтенсивного руху рекомендується використовувати щебенево-мастиковий асфальтобетон [146].

Щебенево-мастикові суміші рекомендується використовувати при влаштуванні верхніх шарів покриття товщиною від 4 до 6 см. Мінімальна товщина покриття повинна бути у три рази більшою за максимальний розмір застосованого щебеню [125, 143].

Для підвищення міцності та довговічності, запобігання виникненню у асфальтобетонному покритті розтягу під дією значних тимчасових навантажень від коліс автомобільного транспорту, рекомендується використовувати армуючі синтетичні сітки та геосинтетичні матеріали, а також мікроармування [148 – 152].

Армування нижньої грані монолітного шару або верхньої його частини синтетичними сітками, що мають міцність на розрив більшу ніж матеріал шару на розтяг при згині, сприяє підвищенню розрахункової міцності конструкції за третім критерієм міцності (опору розтягу при згині монолітних шарів) [39].

Довговічність дорожньої конструкції у значній мірі залежить від міцності і розподіляючої здатності основи. Призначення основи – передача напружень від транспортних засобів, що сприймає покриття дорожнього одягу і розподілення їх на ґрунт земляного полотна [40, 153].

Для руху великовагових транспортних засобів нижні шари основи, рекомендується влаштовувати переважно з укріплених матеріалів – щебених сумішей, оброблених бітумною емульсією, фракційного щебеню,

обробленого в'язким бітумом шляхом просочення, щебенево-піщаної суміші, укріпленого методом просочення цементопіщаною сумішшю [153 – 158].

Для підвищення міцності на зсув шари нижньої частини основи рекомендується омонолічувати малими дозами органічних або неорганічних в'язучих.

При створенні довговічних дорожніх одягів в нових умовах доводиться враховувати значні напруженні від зсуву в основі дорожнього одягу, що виникають від навантаження коліс великовагових транспортних засобів [34, 35].

В наслідок чого в усіх країнах світу широке розповсюдження отримали нежорсткі дорожні одяги з основою з кам'яних матеріалів та ґрунтів, укріпленими органічними і неорганічними в'язучими речовинами [153 – 158].

Завдяки введенню в ґрунт в'язучих речовин проходить складна фізико-хімічна та хімічна взаємодія його з в'язучими матеріалами, в результаті чого проходить докорінне змінення якості та покращення фізико-механічних властивостей ґрунту [160].

В основі комплексних методів укріплення ґрунтів покладено принцип направлений на регулювання фізико-хімічних властивостей укріплюваного ґрунту для створення оптимальних умов формування міцності, водостійкості та морозостійкості структури цементоґрунту [153 – 158].

Результати виконаних досліджень ефективності RBI-81 [154] свідчать про те, що визначення межі міцності на розтяг при згині зразків 90-добового терміну твердіння у водонасиченому стані свідчать, що супісок піщанистий з добавкою 3% RBI-81 має міцність при стиску 0,2 МПа. Із збільшенням добавки RBI-81 міцність підвищувалася, і досягає 1,8 МПа при 9% RBI-81, що в свою чергу на 1,5 – 2,5 рази вище ніж при використанні портландцементу.

Дослідження проведені [156] по додаванню волокон в цементоґрунт, дозволили встановити, що введення в цементоґрунт арматури із синтетичних

матеріалів впливає на його фізико-механічні властивості і розрахункові характеристики, збільшує модуль пружності, міцність при вигині і розриві. Характерно, що міцність зразків при стиску і їх морозостійкість при введенні синтетичних матеріалів знижуються як при великій, так і малій кількості цементу.

Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів урахування дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, який дає можливість зробити висновок про те, що на даний час не розроблено удосконалений метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

1.5 Висновки по розділу, мета та задачі дослідження

1. Проведено критичний аналіз існуючих теоретичних і практичних, експериментальних досліджень з прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, встановлено, що головною причиною утворення колії на асфальтобетонному покритті є та обставина, що більшість доріг були запроектовані під розрахункові навантаження групи А (100 кН на вісь) та групи Б (60 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації автомобільних доріг, зростає не тільки інтенсивність руху, але і збільшуються параметри транспортного навантаження та аномально висока літня температура (понад 60% пластичних деформацій із загальної кількості дефектів).

2. Встановлено, що в існуючих наукових розробках не достатньо вивчено: комплексний вплив термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону з врахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних, транспортних факторів; існуючі методи оцінки

стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та укріплення шарів основи, а також фактичних режимів навантаження великовагових транспортних засобів за різних температурних умов.

3. Установлено з аналізу, що існуючі лабораторні та стендові експериментальні дослідження не достатньо відображають фактичні умови роботи покриття, а саме вплив рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних, транспортних факторів на утворення колії в асфальтобетонному покритті.

4. Проведений літературний огляд свідчить про необхідність вирішення науково-практичної задачі з підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок удосконалення методу її оцінки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

5. Робота полягає в удосконаленні методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, при дії вертикальних навантажень транспортних засобів за високих літніх температур. Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- провести аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії;

- встановити аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах;

- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів та укріплених ґрунтів; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у

вигляді колії; закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу;

– розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

6. Для досягнення основного наукового результату висунуто *робочу гіпотезу*: закономірності утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії вертикального навантаження транспортних засобів за високих літніх температур, можуть базуватися на застосуванні аналітично-експериментального підходу незалежно від виду прояву рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів. Використовуючи такий підхід аналітична залежність може бути отримана на основі положень теорії пружнопластичності при вирішенні задачі оцінки стійкості покриття до утворення колії від дії вертикального навантаження транспортних засобів з урахуванням термов'язкопружньо-пластичних властивостей асфальтобетону та конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи) на основі експериментально встановлених параметрів цієї залежності в умовах, що відображають особливості роботи покриття нежорсткого дорожнього одягу при певному виді прояву рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів.

7. Основні результати досліджень першого розділу висвітлено в роботах автора: [6, 10, 11, 27, 65, 116, 119, 127, 139, 155].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ

2.1 Концептуальні положення з оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Робоча гіпотеза з закономірності утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії вертикального навантаження транспортних засобів за високих літніх температур, може базуватися на застосуванні аналітично-експериментального підходу незалежно від виду прояву рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів. Використовуючи такий підхід аналітична залежність може бути отримана на основі положень теорії пружнопластичності при вирішенні задачі оцінки стійкості покриття до утворення колії від дії вертикального навантаження транспортних засобів з урахуванням термовязкопружньопластичних властивостей асфальтобетону та конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи) на основі експериментально встановлених параметрів цієї залежності в умовах, що відображають особливості роботи покриття нежорсткого дорожнього одягу при певному виді прояву рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів.

Оцінка стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії передбачено за допомогою аналітичних залежностей, що дозволяють оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії з урахуванням погодньо-кліматичних, експлуатаційних, технологічних та матеріалоємних факторів з подальшим експериментним дослідженням.

Для прогнозування утворення колії асфальтобетонного покриття при дії напружень від транспорту та температури, оцінка стійкості

асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії повинна базуватися на умові граничного стану.

Безпосередньо у роботі, під поняттям стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії розуміється стійкість всіх елементів дорожнього одягу та ґрунту земляного полотна чинити опір дії транспортних засобів до накопичення залишкових деформацій, що потенційно можуть призводити до утворення колії на поверхні покриття.

Адекватність теоретичних рішень підтверджено експериментальним шляхом у розділі 3.

2.2 Теоретичні дослідження накопичення залишкових деформацій у вигляді колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу

Під час вирішення задачі, розглядається розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу при дії транспорту, зі встановленням аналітичних залежностей для прогнозування залишкових деформацій та оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії.

Беручи до уваги найбільш несприятливі умови роботи асфальтобетонного покриття, з точки зору накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті та в шарах основи нежорсткого дорожнього одягу і ґрунті земляного полотна від дії транспортних засобів, як при високій температурі влітку, так і при високій вологості зв'язаних ґрунтів в різні періоди року, запропоновано найбільш ефективну розрахункову схему його роботи [162, 163].

Ураховуючи те що в загальному випадку причиною утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорстких дорожніх одягів є результат накопичення залишкових деформацій не тільки в самому покритті, а також в

багатьох випадках і в шарах основи, додаткової основи та в робочій зоні ґрунту земляного полотна.

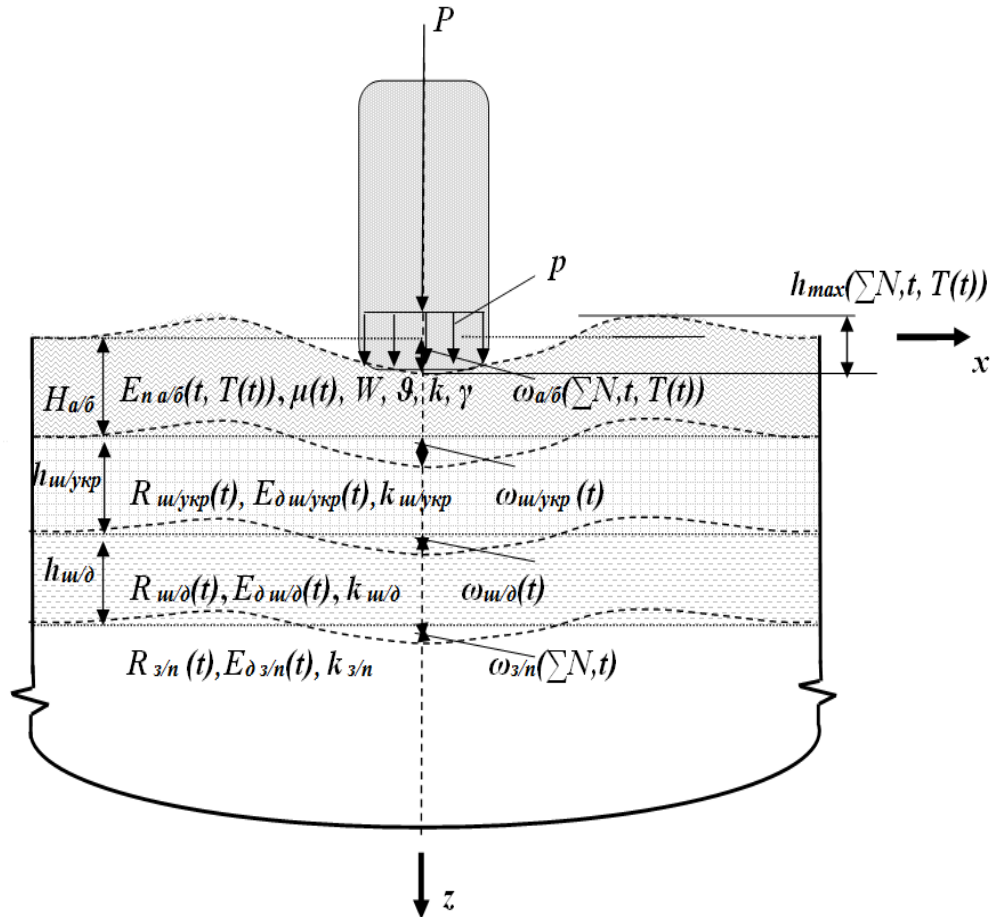
Для оцінки залишкових деформацій на поверхні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно розглянути задачу з визначення переміщень в шаруватому в'язко-пружньо-пластичному напівпросторі при русі транспортних засобів.

Виходячи з прийнятої в дисертації постановки задачі в роботі застосовано аналітично-експериментальний підхід з врахуванням відомих наукових положень утворення пластичних деформацій в покритті нежорсткого дорожнього одягу. Зокрема на основі досліджень Богуславського А. М., Васільєва О. П., Золотарьова В. О., Жданюка В. К., Лугова С. В., Смірнова О. В., Мевлидинова З. А., Павлюка Д. О., Радовського Б. С., Телтаєва Б. Б. та інших дослідників, можна констатувати, що відбуваються малі відносні деформації в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу за рахунок накопичення вертикальних деформацій від дії навантаження, сумарне накопичення яких за певний період призводить до утворення колії.

З метою вирішення поставленої задачі розроблено схему утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу (рис. 2.1).

Професором Радовський Б. С. [34] була розглянута задача визначення переміщень в нежорсткому дорожньому одязі як в шаруватому в'язко-пружному безінерційному напівпросторі з довільним кінцевим числом ізотропних та однорідних шарів [34]. Однак, використання отриманих аналітичних залежностей є досить проблематичним, зважаючи на велику громіздкість формули з виключенням можливості широкого використання її для інженерних розрахунків. В механіці деформованого твердого тіла було запропоновано та розвинуто використання квазіпружного методу апроксимації при застосуванні точного рішення пружного на півпросторі Карнаухова В. Г. та інших [34]. В свою чергу, Шепері Р. А. звернув увагу, що

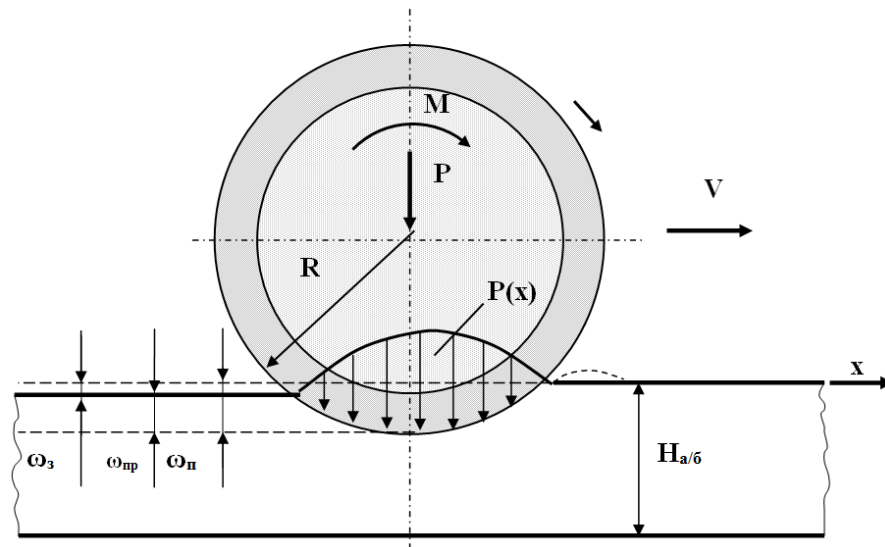
в'язкопружне рішення виходить із пружного рішення заміною всіх пружних характеристик матеріалу відповідними функціями релаксації і функціями повзучості [8, 34, 138], та доцільно користуватися взаємозв'язком між функцією повзучості і релаксації, отриманій як на основі точного рішення.



p – питомий тиск, МПа; $m(t)$ – коефіцієнт Пуассона, який залежить від часу дії навантаження, температури і виду матеріалу; $T(t)$ – температура, яка залежить від часу, $^{\circ}\text{C}$; $E_{n\ a/b}(t, T(t))$ – функція модуля пластичності асфальтобетонного покриття, МПа; $R_{ш/д}(t)$, $R_{ш/укр}(t)$, $R_{з/n}(t)$ – функція релаксації дискретного матеріалу, укріпленого матеріалу, земляного полотна, МПа; $E_{д\ ш/д}(t)$, $E_{д\ ш/укр}(t)$, $E_{д\ з/n}(t)$ – функція деформації шару з дискретного матеріалу, укріпленого матеріалу, земляного полотна, МПа; $H_{a/b}$ – товщина асфальтобетонного покриття, що складається з кількості шарів n , м.; $h_{ш/д}$, $h_{ш/укр}$, $h_{з/n}$ – товщина шару з дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна, м; $k_{ш/д}$, $k_{ш/укр}$, $k_{з/n}$ – коефіцієнти, що враховують в'язко-пластичні властивості матеріалів (дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна); $h_{max}(\sum N, t, T(t))$ – максимальна глибина колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу, м

Рисунок 2.1 – Схема утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги

Утворення залишкових деформацій в асфальтобетонному шарі зображено на рис. 2.2.



p – рівномірний нормальний тиск, розподілений на площі круга діаметром D ; V – швидкість транспортного засобу; R – радіус колеса; $H_{a/b}$ – товщина асфальтобетонного покриття, м; ω_n – повна деформація; ω_{np} – пружна зворотна деформація; ω_z – залишкова деформація

Рисунок 2.2 – Рух колеса при утворенні колії в асфальтобетонному шар

Враховуючи наведене, для дослідження напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу було застосовано точне рішення Приварнікова А. К. [67] для багат шарового на півпростору.

Розглянемо процес поведінки асфальтобетонного покриття під навантаженням, коли навантаження змінюється за законом [168]:

$$\sigma(t) = \sigma_{\kappa} \cdot h_{(t)} \begin{cases} \text{при } h_{(t)} = 1, & \text{при } t \in [0; t_n] \\ \text{при } h_{(t)} = 0, & \text{при } t \in [t_n; t_p] \end{cases}, \quad (2.1)$$

де σ_k – діюче навантаження, МПа;

$h(t)$ – функція Хевісайда;

t_n – час навантаження, с.;

t_p – час розвантаження, с.

Діаграма деформації матеріалу, відповідає закону навантаження (2.1), що зображено на рис. 2.3. Ордината MN кривої повзучості в довільний момент часу t утворює незворотню ω_n та зворотню $\omega_{зв} t$ частину деформації, що утворюється в процесі навантаження – повна деформація (ω_n); незворотню ω_n та зворотню $\omega_{зв} t$ складові деформації, що розвиваються під час процесу повзучості – зворотня (пружна) деформація ($\omega_{пр}$) [168].

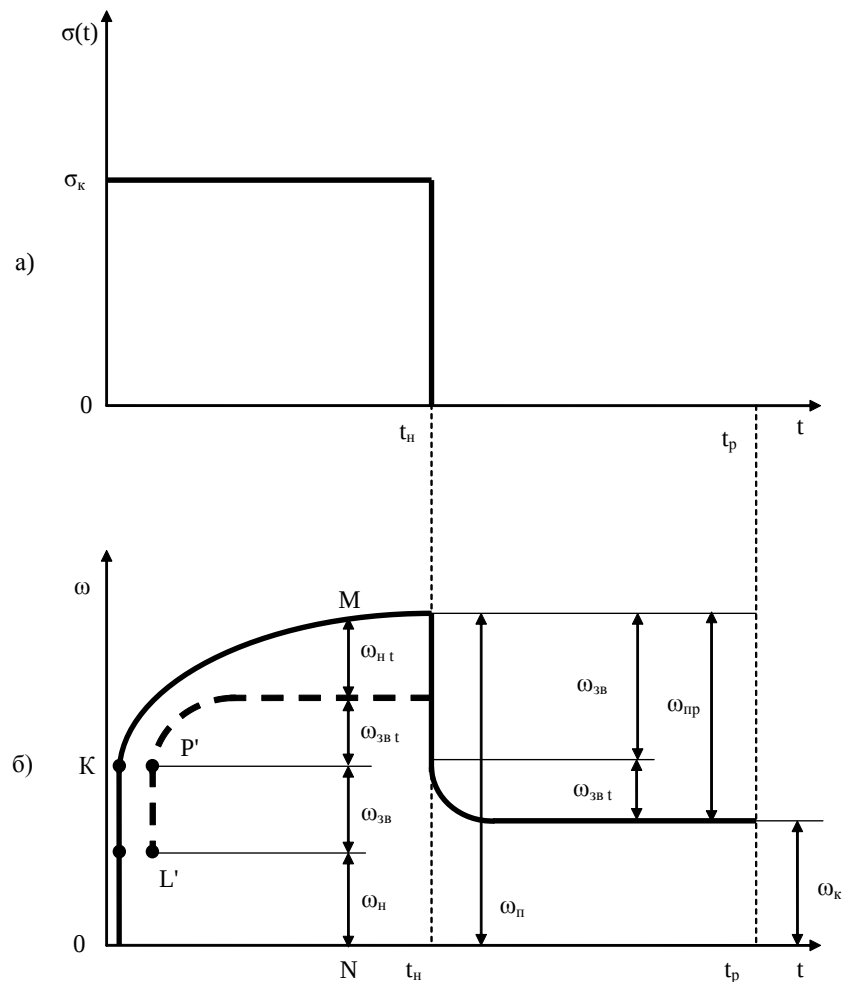


Рисунок 2.3 – Діаграма зміни напруження і деформації асфальтобетонного покриття: а) процес навантаження; б) крива повзучості

В результаті цього, вираз повної деформації (ω_n), що розвивається при навантаженні запишемо в наступному вигляді:

$$\omega_n = \omega_{3\epsilon} + \omega_n + \omega_{3\epsilon t} + \omega_{nt}, \quad (2.2)$$

де ω_n – повна деформація, мм;

ω_n – незворотна деформація, мм;

$\omega_{3\epsilon}$ – зворотна деформація, мм.

Визначення складових деформацій проводять з дослідження на повзучість при ступінчатому навантаженні за законом (2.2). В момент часу $t \in [0; t_i]$, при $\sigma(t) = \sigma_k$ повна деформація включає в себе незворотні та зворотні складові. На ділянці часу $t \in [t_n; t_p]$, при $\sigma(t) = 0$ деформація матеріалу зміниться лише за рахунок зворотних складових $\omega_{3\epsilon}$, $\omega_{3\epsilon t}$.

Ордината OK кривої повзучості (рис. 2.3), розвивається в процесі навантаження матеріалу, складається з деформації зворотної $\omega_{3\epsilon}$ та незворотної ω_n . Розділити ці деформації, розглядаючи тільки криву навантаження, не є можливим, так як вони протікають одночасно та з високою швидкістю. В свою чергу, ордината $L'P'$ на розвантажувальній кривій включає лише зворотну деформацію $\omega_{3\epsilon}$. Припустимо, що закон деформування матеріалу однаковий для моменту навантаження і розвантаження, якщо не змінюються умови дослід, визначення складових деформації можливе завдяки спільному розгляду кривих повзучості та зворотної повзучості [5, 34]. Тоді при зміщенні кривої розвантаження з навантажувальною кривою (рис.2.3, б) з'являється можливість визначення всіх складових повної деформації і виділення незворотної її частини за наступним виразом:

$$\omega_3 + \omega_{3t} = \omega_n - \omega_{3\epsilon} - \omega_{3\epsilon t} . \quad (2.3)$$

Для визначення закономірності процесу розвитку і накопичення незворотних деформацій асфальтобетонного покриття, необхідно експериментальним шляхом отримати реологічні діаграми деформування асфальтобетонного покриття.

Отже отримаємо вираз визначення залишкової деформації в наступному вигляді:

$$\omega_k = \omega_n - \omega_{np}, \quad (2.4)$$

де ω_k – залишкова деформація асфальтобетонного покриття;

ω_n – повна деформація, мм;

ω_{np} – пружна деформація.

2.3 Дослідження температурного режиму асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу

Для визначення переміщень асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно визначити температуру асфальтобетону, можна скористатися відомими рішеннями задачі теплопровідності для гармонійного коливання температури на поверхні покриття. Аналіз результатів відомих теоретичних та експериментальних досліджень показав [8, 17, 19, 34], що на температурний режим асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу впливають дві основні гармоніки річних та добових коливань.

В роботах Мозгового В. В., Онищенка А. М., Невінгловського В. Ф. та інших [128, 138, 141] отримано вираз для визначення коливання температури асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу, який отриманий за допомогою відомих підходів [34 та інші].

Для вирішення поставленої задачі, температуру асфальтобетонного покриття в теплий період року можна визначити за залежністю (2.5) при замірах температури повітря у затінку [8]:

$$T_{аб} = T_{пов} + T_e \quad (2.5)$$

Звідки:

$$T_e = \frac{(1-A) \cdot I_{cp}}{\alpha_n}, \quad (2.6)$$

де $T_{аб}$ – температура покриття, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{пов}$ – температура повітря оточуючого середовища, $^{\circ}\text{C}$;

T_e – температура розігріву покриття за рахунок сонячного випромінювання, $^{\circ}\text{C}$;

I_{cp} – інтенсивність сонячного повітря за рахунок сонячного випромінювання, $\text{ккал/м}^2 \times \text{год}$;

A – альбедо покриття (коефіцієнт віддзеркалення);

α_n – загальний коефіцієнт тепловіддачі ($20,8 \text{ ккал/м}^2 \times \text{год} \times \text{град}$).

Для спрощеного визначення температури покриття T скористаємося залежністю [134]:

– при визначенні температури повітря в тіні:

$$T_{аб} = 1,3 \cdot T_{nm} + 7^{\circ}\text{C}, \quad (2.7)$$

де T_{nm} – температура повітря в тіні, $^{\circ}\text{C}$.

– при визначенні температури повітря на відкритих ділянках, за допомогою виразу В.Р. Барнера [134]:

$$T_{аб} = 1,20 \cdot T_{ноє} + 3,2^{\circ}C. \quad (2.8)$$

На відміну від пружних матеріалів, залежність між напругою і деформацією асфальтобетону, як і інших в'язко-пружних тіл, включає час. Найбільш загальною формою зв'язку між напругою σ , деформацією ε і часом t для лінійно в'язко-пружних тіл є співвідношення Больцмана-Вольтерра [34, 138]:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau) \quad (2.9)$$

або

$$\varepsilon(t) = \int_0^t \Pi(t-\tau) d\sigma(\tau), \quad (2.10)$$

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

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

Функція релаксації $R(t)$ грає у співвідношенні (2.9) ту ж роль, що і модуль пружності E в законі Гука, але залежить від проміжку часу $(t - \tau)$, а функція повзучості $\Pi(t)$ аналогічна пружної піддатливості $1/E$, але так само залежить від часу $(t - \tau)$. Для однозначного формулювання зв'язку між напругою, деформацією і часом досить розташовувати будь-який з функцій $R(t)$ або $\Pi(t)$, тому з (2.9) слід [34, 138], що вони пов'язані між собою точною рівністю:

$$\int_0^t R(t-\tau) \Pi(\tau) d(\tau) = t, \quad (2.11)$$

Таким чином, існує велика кількість моделей, що достатньо задовільно описують термо-в'язку поведінку навіть таких складних матеріалів як асфальтобетон.

Однак як показано багатьма дослідниками [34], для опису поведінки асфальтобетону на даний час широко використовуються з достатньою точністю можна використовувати функції релаксації у вигляді модифікованого степеневого закону:

$$R_{a/\delta}(t, T(t)) = R_{\infty} + (R_0 - R_{\infty}) \cdot \left(1 + \frac{t}{\tau_0}\right)^{-m}, \quad (2.12)$$

де $R_{a/\delta}(t, T(t))$ – функція релаксації асфальтобетону;

R_0, R_{∞} – відповідно миттєве та довготривале значення функції релаксації;

m, τ_0 – параметри апроксимації.

Функція модуля деформації описується наступним виразом:

$$E_{\delta a/\delta}(t, T(t)) = E_{\delta\infty} + (E_{\delta 0} - E_{\delta\infty}) \cdot \left(1 + \frac{t}{t_0}\right)^{-\lambda}, \quad (2.13)$$

де $E_{\delta a/\delta}(t, T(t))$ – функція деформації асфальтобетону;

$E_{\delta 0}, E_{\delta\infty}$ – відповідно миттєве та довготривале значення функції деформації;

λ, t_0 – параметри апроксимації.

Для визначення функції релаксації матеріалу, для будь-якої температури $R(t, T)$ та функцію деформації матеріалу, для будь-якої температури $E_{\delta}(t, T)$, достатньо знати функцію релаксації при будь-якій температурі $R(t, T)$ та функцію деформації при будь-якій температурі $E_{\delta}(t, T)$,

а також коефіцієнт температурно-часового зміщення $a(T)$. Тоді можна записати:

$$R(t, T) = R(\mu, T_1), \quad (2.14)$$

$$E_o(t, T) = E_o(\vartheta, T_1), \quad (2.15)$$

де
$$\mu = \int_0^t \frac{dt}{a(T)}, \quad (2.16)$$

та
$$\vartheta = \int_0^t \frac{dt}{a(T)}, \quad (2.17)$$

ν, μ – приведений час;

$a(T)$ – коефіцієнт температурно-часового зміщення, який залежить від температури;

T_1 – поточна температура.

Залежність $a(T)$ від температури T встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Отже, коефіцієнт $a(T)$ являє собою зсув за шкалою lgt функції релаксації, якщо $lg\alpha=0$, то властивості матеріалу не залежать від температури. Тобто, чим більше значення $lg\alpha$, тим сильніше змінюються властивості матеріалу зі зміною його температури.

Температурно-часовий зсув α в загальному випадку для асфальтобетону є нелінійною функцією від температури, що отримано з результатів експериментальних досліджень [8, 34, 128, 138 та інші.].

Функцію температурно-часової аналогії описували виразом [8, 34, 128, 138 та інші]:

$$a_T(T, Q) = e^{-p(T-Q)}, \quad (2.18)$$

де p – постійна, що визначається експериментально;

T, Q – температура відповідно поточна та приведена.

Залежність $\theta(T)$ (коефіцієнт температурно-часової аналогії) від температури T встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Дану залежність можна встановити в координатах:

$$\lg \theta(T) - (T(t) - T_s), \quad (2.19)$$

де $T(t)$ – поточна температура;

T_s – температура приведення.

Встановлені вимоги задовольняє залежність:

$$a(T) = \frac{1}{e^{p[T(t)-T_s]}}, \quad (2.20)$$

де p – деякий експериментальний параметр з розмірністю $[1/^\circ\text{C}]$;

$T(t)$ – поточна температура;

T_s – приведена температура.

Згідно виразу 2.4 функція пластичності ($E_{n\ a/\delta}(t, T(t))$) визначається за залежністю 2.21:

$$E_{n\ a/\delta}(t, T(t)) = R_{a/\delta}(t, T(t)) - E_{\delta\ a/\delta}(t, T(t)), \quad (2.21)$$

2.4 Метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Суть удосконаленого методу полягає в оцінці стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, який базується на літературних даних (розділ 1) та власних дослідженнях [10, 162, 163, 165 – 167]. Для розроблення аналітичної залежності з прогнозування колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу (рис. 2.1) розглядається її формування за рахунок накопичення залишкових деформацій при дії навантаження транспортних засобів та високої літньої температури в асфальтобетонних шарах покриття та в шарах основи нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг. Асфальтобетон з урахуванням відомих результатів дослідження Богуславського А. М., Веренька В. А., Гезенцвея Л. Б., Жданюка В. К., Золотарьова В. О., Матуа В. П., Онищенко А. М., Руденського А. В. та Телтаєва Б.Б. та інших вчених, розглядається як термов'язкопружнопластичне тіло, властивості якого запропоновано описувати такими основними показниками: функція модуль пластичності (в'язкопружна характеристика) асфальтобетону $E_{na/o}(t, T(t))$, яка залежить від часу дії навантаження і температури. А шари конструкції дорожнього одягу з урахуванням відомих результатів досліджень Васільєва О. П., Матуа В. П., Мозгового В. В., Мурашиної Н. В., Радовського Б. С., Павлюка Д. О. та Телтаєва Б. Б. та інших вчених, описати: функцією релаксації дискретного матеріалу $R_{ш/o}(t)$, укріпленого матеріалу $R_{ш/укр}(t)$, земляного полотна $R_{з/n}(t)$; функція модуля деформації шару з дискретного матеріалу $E_{o ш/o}(t)$, укріпленого матеріалу $E_{o ш/укр}(t)$, земляного полотна $E_{o з/n}(t)$; коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості матеріалів (дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна), відповідно $k_{ш/o}$, $k_{ш/укр}$, $k_{з/n}$.

Як передумова для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, було використано: теоретичні положення та рішення задач накопичення залишкових деформацій в асфальтобетоні Богуславського А. М., Васільєва О. П., Смірнова О. В., а прогнозування залишкових деформацій в шарах основи та земляному полотні Васильєва О. П., Мурашиної Н. В., Радовського Б. С., Павлюка Д. О., Телтаєва Б. Б. та інших дослідників, при дії навантаження транспортних засобів та високої літньої температури.

З урахуванням розробленої схеми (рис. 2.1) та відомих теоретичних положень запропоновано аналітичну залежність для прогнозування глибини утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах, яка включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури. Тому визначення загальної глибини колії $h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t))$ в асфальтобетонному покритті з урахуванням підходів Васильєва О.П. встановлюється за залежністю:

$$h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t)) = \omega_{a/b}(\sum N, t, T(t)) + \omega_{ш/укр}(t) + \omega_{ш/д}(t) + \omega_{з/п}(\sum N, t) + \omega_{\epsilon}(t) + \omega_{\tau}(\sum N, t), \quad (2.22)$$

де $\omega_{a/b}(\sum N, t, T(t))$ – залишкові деформації в асфальтобетонному шарі;

$\omega_{ш/д}(t)$ – залишкові деформації в шарах дорожнього одягу з дискретних матеріалів;

$\omega_{ш/укр}(t)$ – залишкові деформації в шарах дорожнього одягу з матеріалів, укріплених неорганічним в'язким;

$\omega_{з/п}(\sum N, t)$ – залишкові деформації в земляному полотні;

$\omega_{\epsilon}(t)$ – середня висота випорів колії;

$\omega_{\tau}(\sum N, t)$ – знос покриття від шипованих шин (залежить від виду мінерального матеріалу асфальтобетону) у відповідності з рис. 2.4 [77, 131];

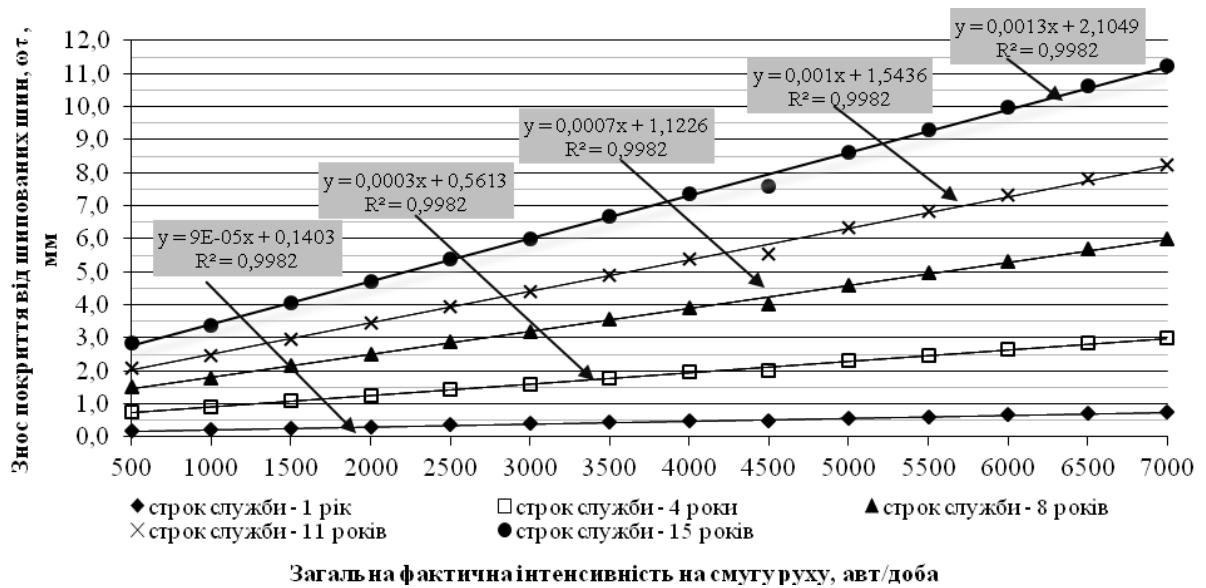


Рисунок 2.4 – Знос асфальтобетонного покриття від шипованих шин

Залишкова деформації в асфальтобетонному шарі з урахуванням уточнення залежності (Додаток А, Таблиця А.2, (А.30)) [47, 54]:

$$\omega_{a/\delta}(\sum N, t, T(t)) = T_{cl} \cdot \sum_{i=1}^i \frac{p \cdot (1 - \mu^2(t)) \cdot H_{a/\delta} \cdot \lg n}{\bar{E}_{na/\delta}(t, T(t)) \cdot \lg N} \cdot \left[1 + 9 \cdot \left(e^{\frac{D_d}{V \cdot t_p}} - 1 \right)^k \right]^\gamma \cdot W \quad (2.23)$$

де $\mu(t)$ – коефіцієнта Пуассона;

$h_{a/\delta}$ – товщина пакету з шарів, які містять органічне в'язуче;

T_{cl} – розрахунковий строк служби дорожньої конструкції, роки (приймається відповідно до ВБН Г.1-218-050 [164]);

n та N – інтенсивність руху розрахункових автомобілів на полосу руху відповідно в місяць і за строк служби;

p – питомий тиск, МПа;

t_p – час релаксації;

V – швидкість транспортного потоку, приймається як середнє між швидкістю на початку експлуатації дорожньої конструкції та в кінці строку її служби;

D_d – діаметр відбитку колеса рухомого автомобіля, м;

i – число місяців в році з характерною середньою температурою.

ϑ , k , γ – параметри, що встановлюються експериментально і відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії в асфальтобетоні при повторному проїзді N колеса. Параметр ϑ змінюється в межах від 0,097 до 0,76, а k від 0,98 до 2,02 та γ від 0,008 до 0,082.

W – функція, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів (вид функції і параметрів встановлюється експериментально [8] або приймається для розрахунків за таблицею 2.1, (2.24):

$$W = \sum_{j=1}^n \frac{(h_{ij} - h_{0j})}{(n \cdot H)} . \quad (2.24)$$

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

h_{0j} – початковий вимір в точці;

H – товщина зразка, мм;

N – кількість вимірів глибини колії.

Таблиця 2.1 – Параметр, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів

Різновиди асфальтобетонів	параметр W , в залежності від внутрішніх факторів
Тип Б-10	0,0774
Тип Б-10 (БМПА 60/90-53)	0,0602
Тип Б-20	0,0501
Тип Б-20 (БМПА 60/90-53)	0,0470
Тип Б-40	0,0390
Тип Б-40 (БМПА 60/90-53)	0,0312
Тип А-10	0,0604
Тип А-10 (БМПА 60/90-53)	0,0581
Тип А-20	0,0368
Тип А-20 (БМПА 60/90-53)	0,0300
Тип А-40	0,0240
Тип А-40 (БМПА 60/90-53)	0,0210
ЩМА-10	0,0591
ЩМА-10 (БМПА 60/90-53)	0,0529
ЩМА-20	0,0216
ЩМА-20 (БМПА 60/90-53)	0,0197

$\bar{E}_{na/\sigma}(t, T(t))$ – середньо-інтегральне значення модуля пластичності визначається за залежністю, МПа:

$$\bar{E}_{na/\sigma}(t, T(t)) = \left(\sum_{i=1}^n E_{na/\sigma}(t, T(t)) \cdot H_{a\sigma i} \right) \div \sum_{i=1}^n H_{a\sigma i} \quad (2.25)$$

де $\bar{E}_{na/\sigma}(t, T(t))$ – функція модуля пластичності i -го шару асфальтобетонного покриття;

n – кількість шарів асфальтобетонного покриття ($n=3$), МПа;

$H_{a\sigma i}$ – товщина i -го шару асфальтобетонного покриття ($i=3$), м.

Середню швидкість транспортного потоку можна визначити за методикою Васільєва О. П., використовуючи залежність [130]:

$$V_{cp} = V_p \cdot K_{pc} - t \cdot v_{от} - \alpha \cdot \beta \cdot N_{\Gamma}, \quad (2.26)$$

де V_p – розрахункова швидкість руху автомобіля;

K_{pc} – значення експлуатаційного коефіцієнту забезпеченості розрахункової швидкості на певній ділянці дороги;

t – гарантійний коефіцієнт довірчої імовірності при 85 %-вій забезпеченості;

$v_{от}$ – середньо квадратичне відхилення швидкості вільного транспортного потоку;

α – коефіцієнт впливу інтенсивності руху;

β – частка вантажних автомобілів та автобусів, які рухаються по полосі;

N_{Γ} – годинна інтенсивність руху.

Залишкова деформації в укріпленому шарі з урахуванням уточнення залежності (Додаток А, Таблиця А.2, (А.32)) [54, 56, 58]:

$$\omega_{ш/укр}(t) = \omega_{ш/д.}(t) \cdot \left[\frac{E_{\partial ш/укр}(t) \cdot k_{ш/укр}}{E_{\partial ш/д}(t) \cdot k_{ш/д}} \right]^{(0,894 \ln(h_{ш/укр}) + 0,732)}, \quad (2.27)$$

де $h_{ш/укр}$ – товщина шару з дискретного матеріалу, укріпленого неорганічним в'язучим, м;

$E_{\partial ш/укр}(t)$ – функція модуля деформації шару дорожнього одягу з дискретного матеріалу, укріпленого цементом, МПа;

$E_{\partial ш/д}(t)$ – функція модуля деформації шару з дискретного матеріалу, МПа.

$k_{ш/д}$ – коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості дискретного матеріалу, та визначається, як відношення функції модуля деформації дискретного матеріалу до функції релаксації дискретного матеріалу $E_{\partial ш/д}(t)/R_{\partial ш/д}(t)$;

$k_{ш/укр}$ – коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості укріпленого матеріалу, та визначається, як відношення функції модуля деформації укріпленого шару до функції релаксації укріпленого шару $E_{\partial ш/укр}(t)/R_{\partial ш/укр}(t)$.

Залишкова деформації в шарі дискретного матеріалу з урахуванням уточнення залежності (Додаток А, Таблиця А.2, (А.31)) [54, 56, 58]:

$$\omega_{ш/д}(t) = \omega_{з/п.}(\sum N, t) \cdot \left[\frac{E_{\partial ш/д}(t) \cdot k_{ш/д}}{E_{\partial з/п}(t) \cdot k_{з/п}} \right]^{(0,657 \ln(h_{ш/д}) - 0,296)}, \quad (2.28)$$

де $h_{ш/д}$ – товщина шару з дискретного матеріалу, м;

$E_{\partial з/п}(t)$ – функція модуля деформації ґрунту земляного полотна, МПа;

$\omega_{з/п}(t)$ – залишкові деформації в земляному полотні, мм/

$k_{з/п}$ – коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості земляного полотна, та визначається, як відношення функції модуля

деформації земляного полотна до функції релаксації земляного полотна $E_{\partial \text{ з/н}}(t)/R_{\partial \text{ з/н}}(t)$.

Пластичні деформації в ґрунті земляного полотна можна розрахувати за формулою [130]:

$$\omega_{\text{з/н}}(\sum N, t) = \exp^{(15\tau+1,38B-3,0)(N \cdot t)^{0,3}}, \quad (2.29)$$

де τ – активні дотичні напруження зсуву в ґрунті земляного полотна;

B – коефіцієнт консистенції ґрунту, доля одиниці;

N – сумарна кількість прикладеного розрахункового навантаження;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість дії одного прикладення автомобільного навантаження.

Для оцінки висоти випорів та загального обсягу, вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче застосовано вираз 2.29. Обсяг вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче визначається як різниця між об'ємом залишкової деформації накопиченої в шарах дорожнього одягу які містять органічне в'язуче, з одного боку, та сумарним об'ємом залишкової деформації шарів основи (без врахування шарів, які містять органічне в'язуче) і ґрунту земляного полотна, з іншого. Таким чином висоту випорів визначаємо за наступною залежністю:

$$\omega_{\text{с}} = \frac{\omega_{\text{а/б}}(t(T(t))) - \omega_{\tau} + \omega_{\text{ш/д}}(t) + \omega_{\text{ш/укр}}(t) + \omega_{\text{з/н}}(t)}{2}, \quad (2.29)$$

При отриманні від'ємного значення, результати свідчатимуть про відсутність утворення випорів.

Гранично допустима глибина колії $[h_{\text{max}}]$ залежить від категорій автомобільної дороги та кліматичних умов роботи асфальтобетону,

рекомендується у зв'язку з небезпекою утворення глибокої колії встановити обмеження для дорожніх покриттів по параметру допустимої глибини колії у відповідності з Р В.2.3-218-21476215-795 [125] та відповідає таблиці 4.1.

Для оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, яка базується на отриманні аналітичних залежностей (2.30), запропоновано умову граничного стану, яка перевіряється як максимальне значення глибини колії $h_{\max}(\sum N, t, T(t))$ накопиченою за розрахунковий строк служби та включає в себе загальну глибину колії $h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t))$ з відповідною забезпеченістю, визначається за формулою:

$$h_{\max}(\sum N, t, T(t)) = h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t)) \cdot (1 + t_{\text{дй}} \cdot C_v) \leq [h_n] \quad (2.30)$$

де $t_{\text{дй}}$ – коефіцієнт довірчої імовірності;

C_v – коефіцієнт варіації глибини колії;

h_n – гранично допустима глибина колії за нормативним документом [125], м.

Коефіцієнт варіації глибини колії на асфальтобетонному покритті встановлений на основі літературних даних та власних досліджень з урахуванням автомобільних доріг різних категорій.

На основі удосконалено метод запропоновано послідовність розрахунку оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів на автомобільних дорогах.

Результати теоретичних досліджень дозволили запропонувати удосконалений метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії (рис. 2.5) [162, 163, 165 – 167].

Розрахунок на стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії згідно рис. 2.5 слід виконувати у такій послідовності:

1. Встановлюємо вихідні дані асфальтобетонного покриття, що проектується згідно проекту, та експериментально визначаємо термомеханічні параметри матеріалів асфальтобетону.

2. Призначаємо тип асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу (на основі бітуму модифікованого полімером та/або без нього), з експериментально встановленими його термореологічними та термомеханічними характеристиками.

3. Встановлюємо вихідні дані основи дорожнього одягу, що проектується, згідно проекту та експериментально визначаємо механічні параметри матеріалів основи.

4. Призначаємо тип шарів з укріпленою основою і експериментально встановлюємо його фізичні та механічні характеристики (модуль пружності, міцність на розтяг при згині, функцію релаксації, функцію зміни коефіцієнта Пуассона, функцію модуля деформації).

5. Призначаємо крок (Δh) збільшення товщини покриття.

6. Визначення переміщень точними або наближеними рішеннями, що виникають в конструкції дорожнього одягу при мінімально допустимій товщині покриття. Прогнозуємо величину колії, що виникає від дії навантаження.

7. На основі пошарового сумування залишкових деформацій в шарах конструкції дорожнього одягу визначаємо кількість проходів транспортних засобів до утворення колійності і порівнюємо їх з граничними значеннями.

8. Якщо виконується нерівність $h_{\max} \leq [h_n]$, то результати розрахунку нас задовольняють і можна вважати, що запроектована конструкція дорожнього одягу відповідає умовам стійкості до утворення колії відповідно до заданих умов, а якщо ні, то потрібно збільшити товщину

асфальтобетонного покриття і провести відповідні розрахунки починаючи з 4 пункту.

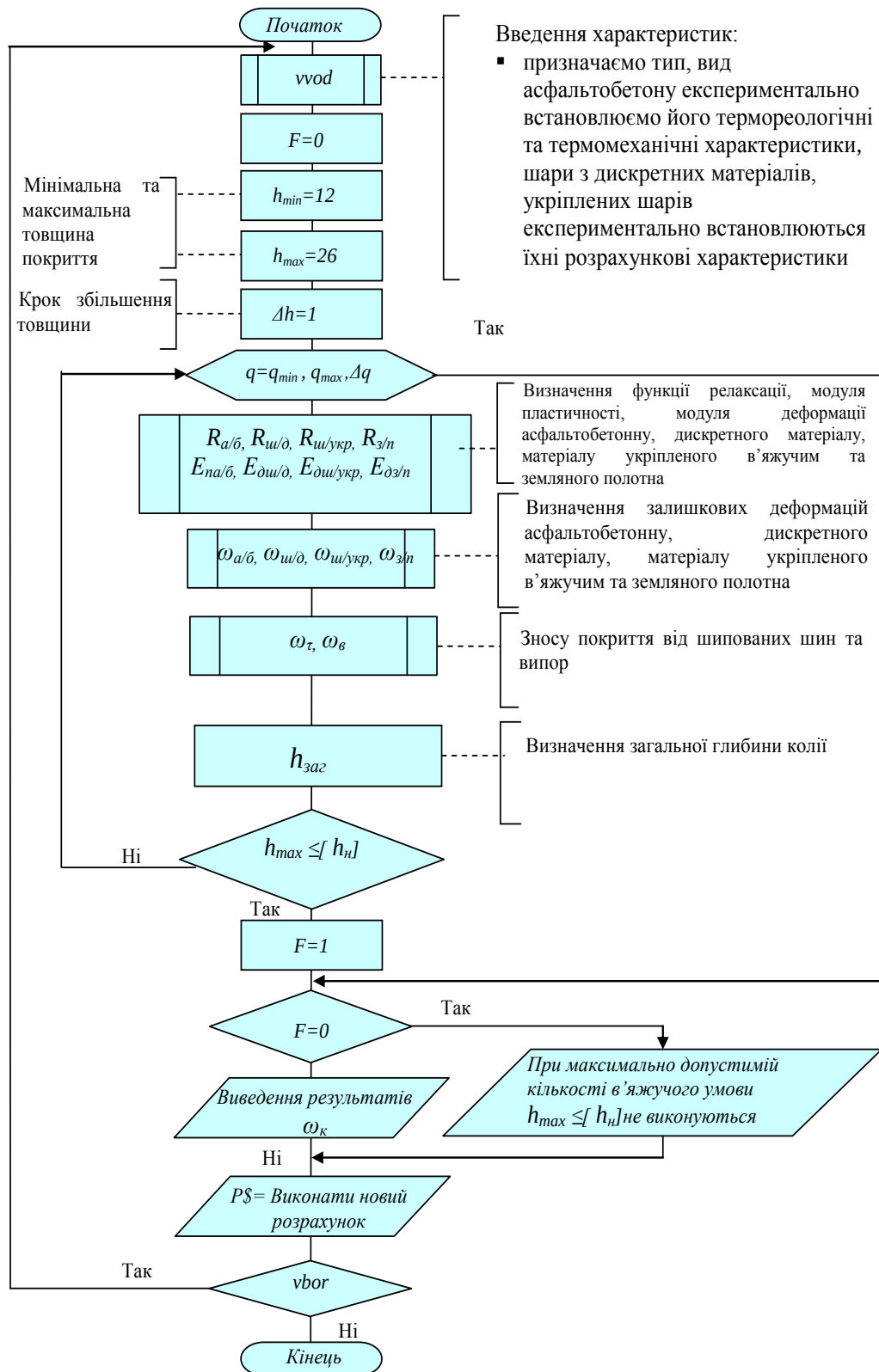


Рисунок 2.5 – Алгоритм оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

9. При невиконанні умови забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття (п. 8) призначається інша товщина покриття, фізичні та механічні характеристики шарів конструкції нежорсткого дорожнього одягу і провести послідовно аналогічні розрахунки починаючи з п. 4.

10. При забезпеченні умови стійкості до утворення колії, підбирають ще 2 – 3 види, конструкцій дорожнього одягу, що найкраще зарекомендували себе в даному регіоні і виконують відповідні розрахунки (починаючи з п. 2) для забезпечення умови п.8.

11. Підібравши, таким чином, декілька видів нежорсткого дорожнього одягу визначають найоптимальнішу із розрахованих.

Приклад розрахунку за запропонованим методом оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії наведено в додатку В.

2.5 Висновки по розділу

Основні результати, що викладені в даному розділі теоретичних досліджень, стосовно методу оцінки асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

1. Розроблено схему утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, що враховує особливості конструкції покриття. Для цієї схеми встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє прогнозувати глибину утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах та включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури.

2. Удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, від дії вертикальних навантажень транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; укріплення ґрунтів; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантаження.

3. Уточнено залежності для прогнозування залишкових деформацій, а саме:

- для асфальтобетонного покриття – врахування функції модуля пластичності, який залежить від різного часу дії навантаження та зміни температури; функції, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів; параметри, що відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії;

- для укріпленого шару основи – врахування функції модуля деформації укріпленого шару, який залежить від різного часу дії навантаження; функції модуля деформації шару з дискретного матеріалу, який залежить від різного часу дії навантаження; та коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості укріпленого шару та дискретного матеріалу;

- для шару дискретного матеріалу – врахування функції модуля деформації шару з дискретного матеріалу, який залежить від різного часу дії навантаження; функції модуля деформації земляного полотна, який залежить від різного часу дії навантаження; та коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості дискретного матеріалу та земляного полотна.

4. Основні результати досліджень другого розділу висвітлено в роботах автора: [163, 165 – 167].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ І СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ

3.1 Мета та задачі експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є: перевірка адекватності розроблених теоретичних моделей (розділ 2) та отриманих результатів теоретичних досліджень реальним процесам зміни температури та в асфальтобетонному покритті, від дії транспорту; натурні дослідження по вивченню колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу; експериментальне визначення функції релаксації; функції модуля деформації, функції модуля пластичності, виконання лабораторних та стендових досліджень з визначення інтенсивності колії в асфальтобетонному покритті; оцінка міцності зчеплення покриття з основою при зсуві; аналіз впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетоні.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- розробка методики проведення експериментальних досліджень в лабораторії кафедри дорожньо-будівельних матеріалів та хімії НТУ, а також на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості»;
- розробка методики визначення властивостей матеріалів нежорсткого дорожнього одягу;
- натурних досліджень асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу;
- дослідження впливу укріплених матеріалів на утворення колії в асфальтобетонному покритті;
- обробка та представлення отриманих даних;

- зіставлення отриманих експериментальних даних з результатами проведених розрахунків та натурних досліджень;
- підготовка до експериментальних стендових випробувань та проведення досліджень на експериментальних конструкціях дорожнього одягу;
- числовий аналіз оцінка результатів експериментальних лабораторних та стендових випробувань утворення колії на асфальтобетонному покритті.

Для підвищення ефективності експериментальних досліджень, було виконано планування експерименту, що включало в собі комплекс методів ефективного експериментування (рис. 3.1).

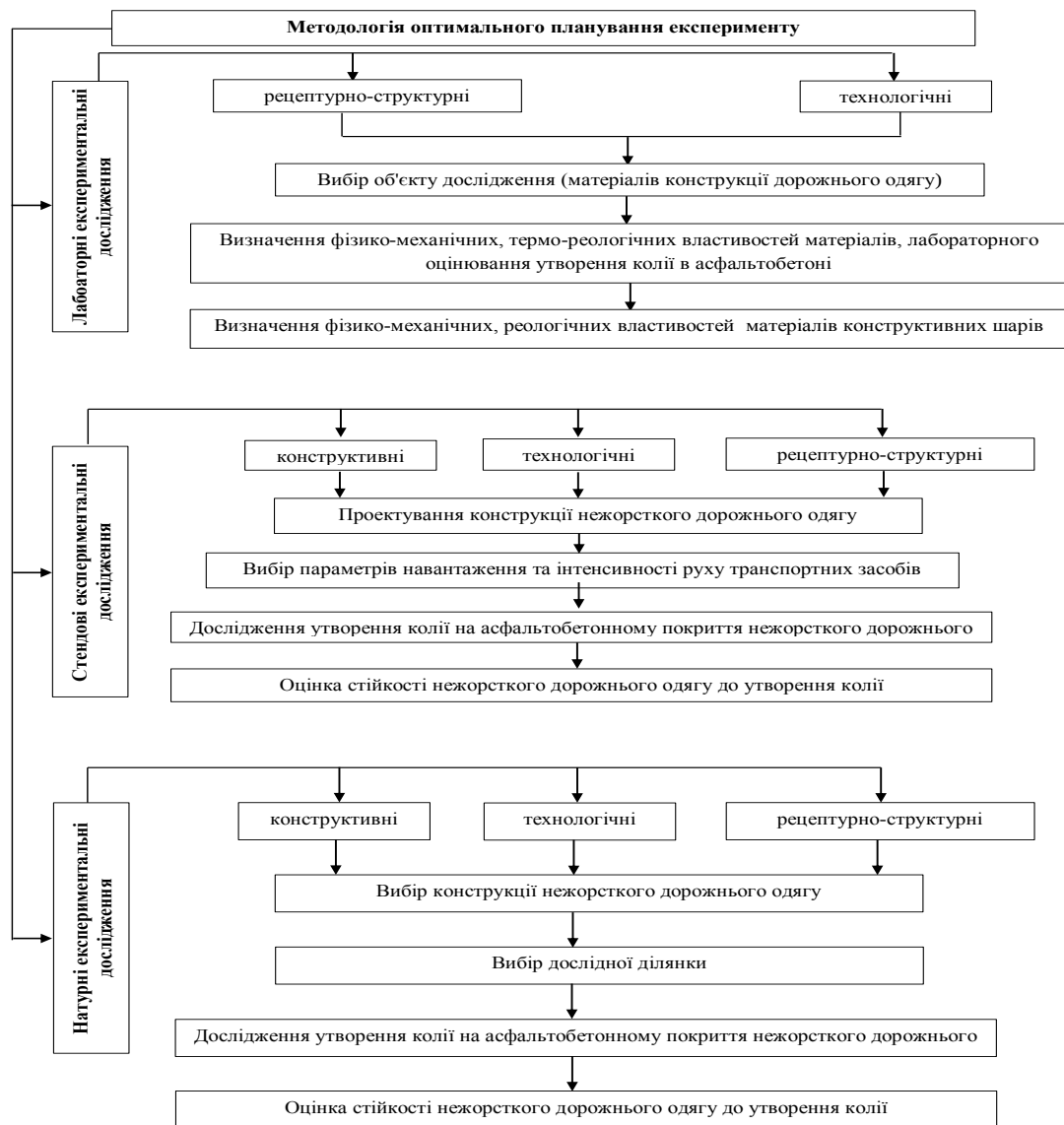


Рисунок 3.1 – Планування експерименту оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії

Розроблена методологія оптимального планування експериментів, яка дозволяє підвищити ефективність експериментальних досліджень, направлених на моделювання та оптимізацію, кількість досліджуваних зразків обирається не менше нормативних вимоків, з урахуванням [169 – 172].

3.2 Матеріали експериментальних досліджень

Об'єктом експериментальних досліджень прийнято найбільш поширені матеріали в конструкції нежорсткого дорожнього одягу, що застосовуються на автомобільних дорогах України.

Об'єкти експериментальних досліджень: асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг, кільцевий стенд ДП «Дорожній контроль якості»; традиційний асфальтобетони дрібнозернистий, крупнозернистий (тип Б, А), щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА). Досліджувалися асфальтобетони з використанням щебеню розміром 10 мм, 20 мм, 40 мм на бітумах дорожніх марок БНД 40/60, БНД 60/90 та бітумах, модифікованих полімером марки: БМПА 60/90-53, що модифікували полімером – термоеластопластом. Досліджувалися матеріали шарів основи дорожнього одягу: укріплений ґрунт, щебінь фракції 20-40 мм, щебенево-піщана суміш, пісок, суглинок.

3.3 Методики визначення властивостей об'єктів досліджень

3.3.1 Натурні дослідження стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Метою натурних випробувань було проведення обстеження стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на прикладі автомобільної дороги М03 Київ – Харків – Довжанський, М21 Житомир – Могилів-Подільський та виявлення на них характерних руйнувань у вигляді

утворення колії [173, 174]. При натурному обстеженні асфальтобетонного покриття використовувались: фотоапарат для фіксації руйнувань, металева лінійка, мірна стрічка, триметрова рейка для визначення залишкових деформацій у вигляді колії на асфальтобетонному покритті. Результати дослідження наведено в п. 3.4.

3.3.2 Методика визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетону

Дослідження проводилися згідно з [172]. Методика визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетону була удосконалена у відповідності до нормативних документів, розроблених за участю автора [179, 178], а також отримала практичне застосування в роботах [8, 138, 141, 142, 176].

3.3.3 Визначення залишкових деформацій у вигляді колії в лабораторних умовах

Методика полягала у випробуванні на стійкість до накопичення залишкових деформацій зразка-плити асфальтобетону при підвищених температурах шляхом циклічного його навантаження через випробувальне колесо. Зразки-плити виготовляли відповідно до [122, 172]. Випробування зразків на стійкість до накопичення залишкових деформацій виконували на секторному пресі неогумленим сталевим колесом діаметром $(203,5 \pm 1)$ мм, при навантаженні на колесо (700 ± 10) Н, за температури $(+50 \pm 1)$ °С, відповідно до [122]. Дана методика знайшла практичне значення в роботах [6, 8, 120, 124, 138, 141, 142, 151, 152, 162, 166, 181].

3.3.4 Методика оцінки міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним шаром і асфальтобетонним покриттям

Для досліджень використовували методику (СОУ 45.2-00018112-046) для оцінки зчеплення асфальтобетонного шару і асфальтобетонного покриття

при випробуванні під дією горизонтальних та вертикальних зусиль, що моделюють дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонні шари при гальмуванні транспортних засобів [180]. Випробування здійснювали за допомогою приладу НТУ-ЗЧ-1 зразків кернів, які були відібрані з покриття кільцевого стенду.

3.3.5 Методика встановлення термов'язкопружньо-пластичних характеристик асфальтобетону

Визначення модуля пружності асфальтобетонних зразків у лабораторних умовах при температурі 0 °С та 20 °С проводилися за короткочасно діючими навантаженнями зразків-балочок у відповідності до методики [172, 179].

Модуль пружності асфальтобетонних зразків-балочок 40×40×160 визначали за допомогою маятникового приладу відповідно до [172, 179] у лабораторних умовах експериментально, за температури 0 °С, +10 °С та +20 °С при різному часі дії навантаження від 10^{-3} с до 10^{+6} с, а при температурі -20 °С, -10 °С та часі дії навантаження від 10^{-6} с до 10^{-3} с за температурно-часовою аналогією.

При визначенні миттєвого значення модуля пружності зразків-балочок використовували ультразвуковий імпульсний прилад СП УК-10ПМС, що дає можливість визначити швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в асфальтобетонному зразку, в залежності від частоти коливань, яка визначає тривалість дії навантаження (с).

На основі отриманих результатів було визначено функцію релаксації, модуля пластичності; модуля деформації [8, 32, 34, 35, 128, 138]. Дані методики знайшли практичне значення в роботах [8, 65, 123, 120, 124, 141, 142, 152, 163, 167, 176, 181].

3.3.6 Методика визначення стандартних фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами

При приготуванні сумішей ґрунту з добавкою волокон та цементом в повітряно-сухий ґрунт вносили добавку, суміш перемішували, за методикою наведеною в Додатку Г.

Суть методики полягає у тому, щоб встановити вимоги до вихідних матеріалів, запроектувати склад, послідовність операцій виготовлення ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими з використанням лабораторного лопатевого змішувача для отримання суміші визначеного розрахунками складу, що відповідає діючим нормативним документам.

Визначення границі міцності при стисканні проводили у відповідності [153]. Результати наведені в Додатку Б.

Випробування зразків-балочок на розтяг при згині проводилися на розривній машині при швидкості навантаження $(100 \pm 0,3)$ мм/хв, за температури 10 °С згідно [153]. Результати наведені в Додатку Б.

3.3.7 Визначення розрахункових характеристик ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами

Визначення модуля пружності асфальтобетонних зразків у лабораторних умовах при температурі 20 °С проводилися за короткочасно діючими навантаженнями зразків-балочок. Дослідження проводилися згідно [153].

3.3.8 Визначення модуля пружності на важільному пресі

Суміш пошарово вкладають у форму, ретельно штикують і потім ущільнюють [153]. Навантаження підбирають так, щоб щільність асфальтобетону, контрольована щодо товщини ущільненого шару, була стандартною, тобто ущільнююче навантаження при формуванні зразків орієнтовно повинно знаходитися в межах 5-15 МПа для ґрунтових сумішей, 15 – 25 МПа для піщаних і дрібнозернистих сумішей і до 40 МПа для

середньозернистих і крупнозернистих сумішей [40]. Зразки випробовують через 12 – 42 години після виготовлення й не раніше, ніж через 4 години після їхнього витримування в термокамері при заданій температурі. Випробовують у термокамері чи в лабораторному приміщенні, підтримуючи температуру зразка електрообігрівачами. Навантаження на зразок від важільного преса передають через сталевий штамп $D = 4$ см; деформації вимірюють індикаторами годинникового типу (рис. 3.2, 3.3).



1 – індикатори годинникового типу; 2 – штамп із заплечниками; 3 – форма із зразком.

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд встановлення штампа та індикаторів при визначенні модуля пружності матеріалу на важільному пресі

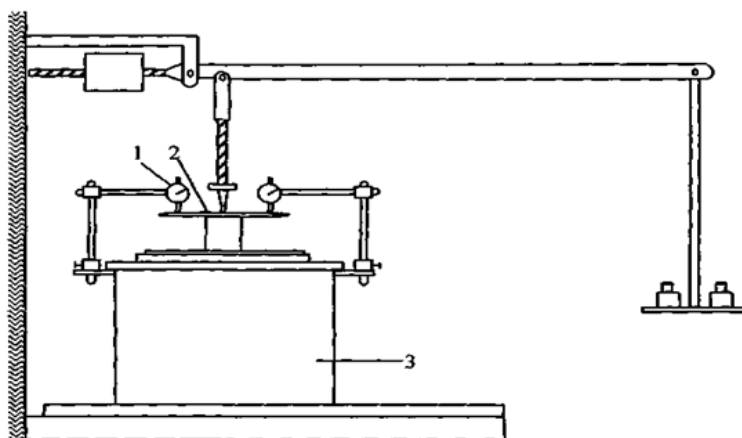


Рисунок 3.3 – Схема встановлення штампа та індикаторів при визначенні модуля пружності матеріалу на важільному пресі [40]

Жорсткість кріплення індикаторів перевіряють легким постукуванням металевим предметом по краях форми; стрілки індикаторів повинні ледве

помітно тремтіти, але після припинення постукування повертатися у своє первинне положення [40]. Постукувати по формі потрібно також і в процесі випробування перед зняттям з індикаторів робочих відліків.

Зразок випробовують двічі при навантаженні $p = 0,5$ МПа з тривалістю дії 5 і 300 с (5 хв); тривалість дії навантаження і відпочинку після розвантаження приймають однаковими. Показання індикаторів знімають наприкінці навантаження й наприкінці відпочинку, а потім за різницею відліків розраховують зворотне вертикальне переміщення (у сантиметрах) штампа f .

Модулі пружності (у мегапаскалях):

$$E_n = \pi \rho D (1 - \mu^2) / (4 f) \approx 14,7 / f, \quad (3.1)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

D – діаметр штампа.

Маючи значеннями модуля пружності асфальтобетону, що отримані в результаті випробування моделей у лабораторії при тривалості дії навантаження 5 с (E_5) і 300 с (E_{300}), визначають модуль пружності E_n цього матеріалу, що працює в умовах, близьких до натурних:

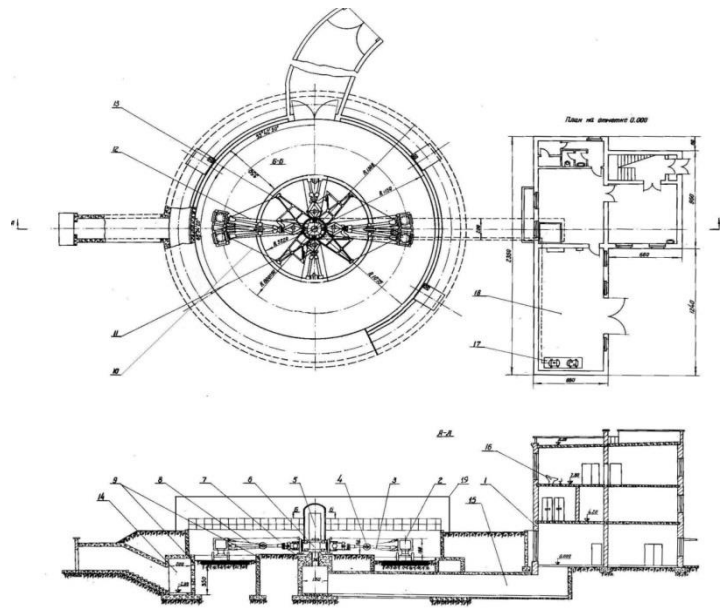
$$E_n = E_5^2 / E_{300}. \quad (3.2)$$

3.3.9 Аналіз результатів стендових експериментальних досліджень утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу на кільцевому стенді

Випробування конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді (рис. 3.4) полягають у створенні статичного або динамічного навантаження за допомогою транспортних засобів та у спостереженні за напружено-

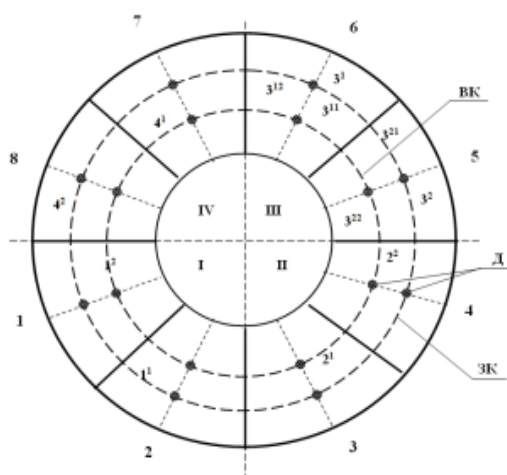
деформованим станом шарів дорожнього одягу та земляного полотна шляхом вимірювання переміщень, деформацій та напружень в них в умовах, наближених до роботи дорожнього одягу на автомобільній дорозі під дією кліматичних факторів та транспорту.

Схема розташування конструкцій дорожнього одягу на стенді ДП «Дорожній контроль якості» наведена на рисунку 3.4, 3.5.



- 1 – службове приміщення;
- 2 – електромобіль; 3 – трубчата тяга;
- 4 – барабан; 5 – контактна колона;
- 6 – осьова труба; 7 – центральна опора;
- 8 – троси для регулювання; 9 – стіни коробки;
- 10 – троси для страхування;
- 11 – шарнірний чотирьохелементний регулювальний пристрій;
- 12 – аварійний трос;
- 13 – ферма; 14 – підземна галерея;
- 15 – кабельний канал; 16 – пульт управління;
- 17 – частотні перетворювачі; 18 – машинний зал

Рисунок 3.4 – Схема кільцевого стенду



- 1¹-4² – варіанти конструкцій дорожнього одягу; 1-8 – вимірювальні створи; ВК – внутрішня колія;
- ЗК – зовнішня колія; Д – місця закладки датчиків

Рисунок 3.5 – Схема розташування на стенді конструкцій дорожнього одягу

Транспортне навантаження на дорожній одяг створюють за допомогою електромобілів (рис. 3.5), що здатні передавати розрахункові навантаження згідно з [40] або інші навантаження, що передбачені програмою випробувань. Методика дослідження конструкцій дорожнього одягу наведена в додатку Б, а також [115].

3.3.10 Визначення стійкості до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу в літній період

Методика розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії наведена в додатку Д.

3.4 Результати експериментальних досліджень

3.4.1 Проведення натурних досліджень стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Дані базуються на результатах проведеного натурального обстеження стану асфальтобетонного покриття існуючої дорожньої конструкції нежорсткого дорожнього одягу, яка від дії транспортних засобів має характерний ряд руйнувань у вигляді колії, а також на результатах аналізу відомих літературних даних.

Проведені дослідження оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії підтвердили результати попередніх досліджень [3, 4, 8, 9, 14, 21, 33, 38, 88, 119, 141 та інші]. Отримані дані натурних досліджень дозволили виявити кінетику утворення колії в асфальтобетонному покритті.

Утворення колії є наслідком поступового накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті та в шарах основи нежорсткого дорожнього одягу і ґрунті земляного полотна від дії транспортних засобів, як

при високій температурі влітку, так і при високій вологості слабо зв'язних матеріалів основи та ґрунтів в різні періоди року. Характерною ознакою колії в асфальтобетонному покритті є те, що вона утворюється переважно від недостатньої міцності конструкції нежорсткого дорожнього одягу (розділ 1), або недостатньої структурної міцності матеріалу покриття, недостатнього щеплення між монолітними шарами конструкції, або зсуву у незв'язних шарах конструкції. У зв'язку з цим в поздовжньому напрямку на проїзній частині, на смузі накату під дією транспортних засобів, утворюється колія.

Колійність асфальтобетонного покриття характеризує мірою деформацій з розповсюдженістю її на кілометровій ділянці дороги (в відсотках сумарної протяжності ділянок) [173, 174].

Обстеження автомобільної дороги М03 Київ – Харків – Довжанський та М21 Житомир – Могилів-Подільський наведено на рис. 3.6 – 3.8.

Міра уражень колією асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу диференційована за трьома рівнями – перший, другий і третій. Третій рівень означає критичний стан дорожньої конструкції за деформацією (рис. 3.9, 3.10 табл. 3.1, 3.2).

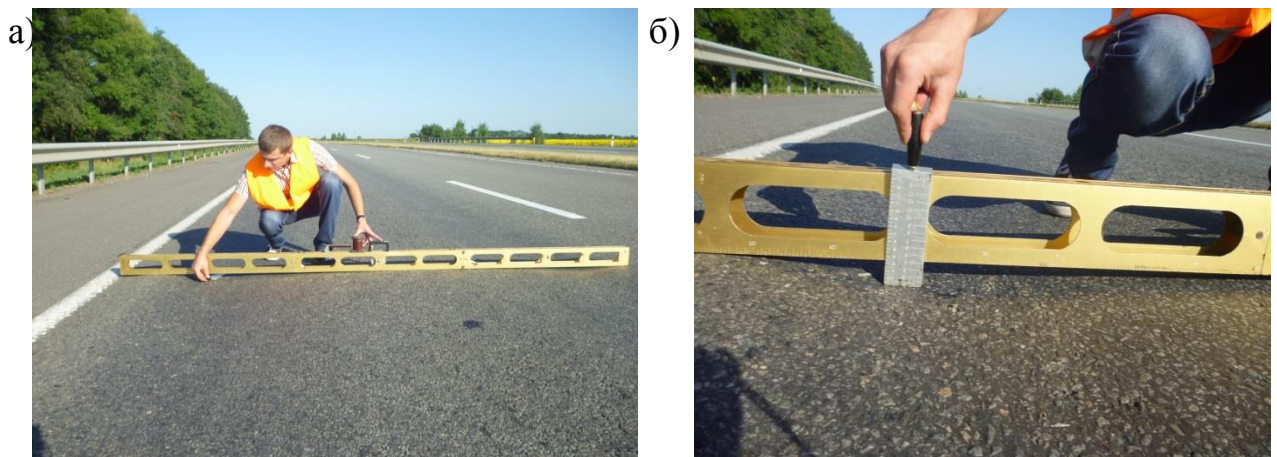


Рисунок 3.6 (а, б) – Автомобільна дорога міжнародного значення М03 Київ – Харків – Довжанський, км 171+000 (обстеження 2014 р.)

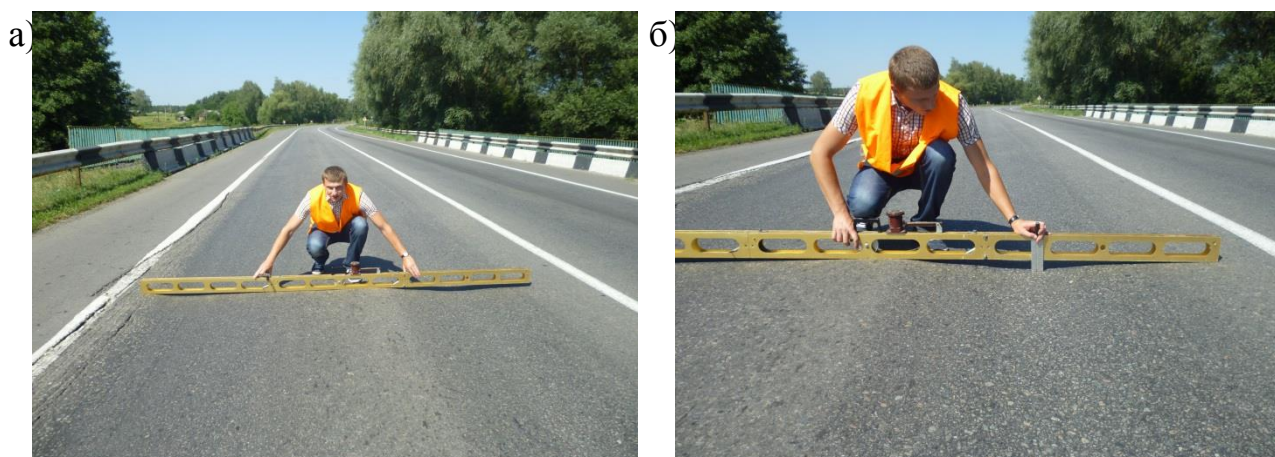


Рисунок 3.7 (а, б) – Автомобільна дорога міжнародного значення М03 Київ – Харків – Довжанський, км 283+200 (обстеження 2014 р.)

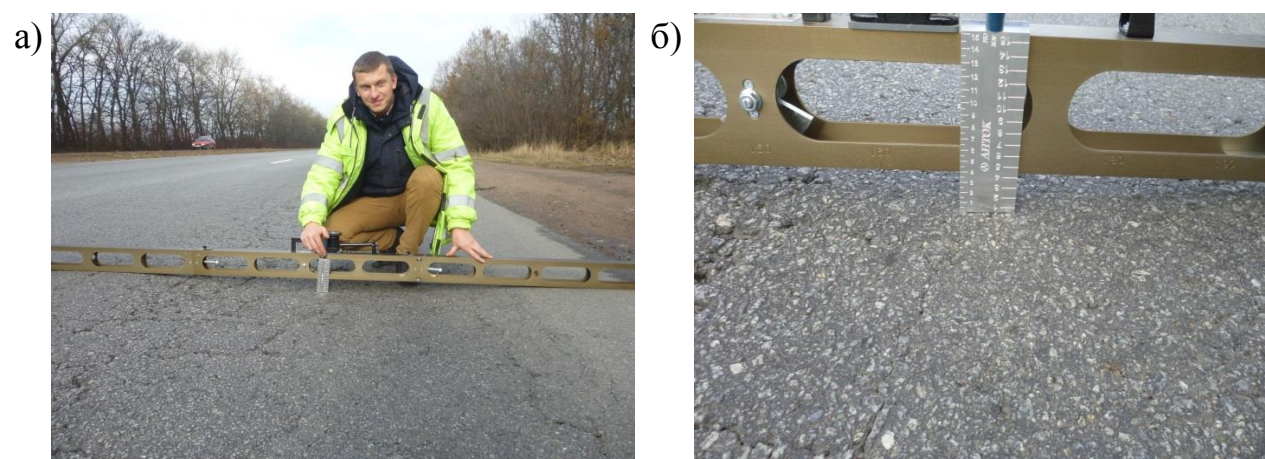
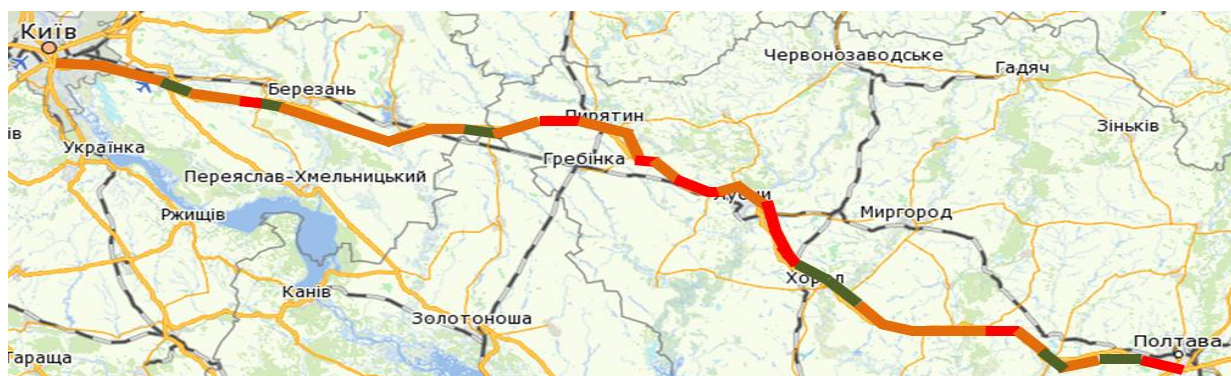
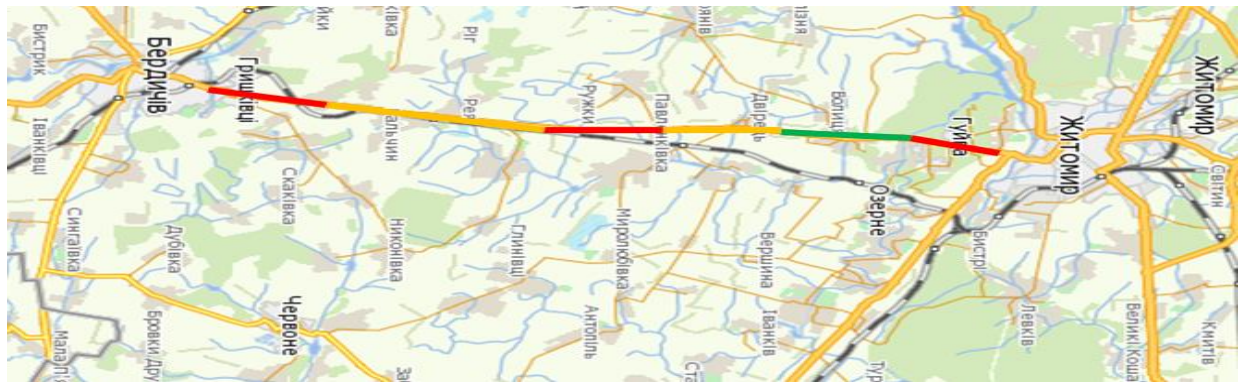


Рисунок 3.8 (а, б) – Автомобільна дорога міжнародного значення М21 Житомир – Могилів-Подільський, км 24+000 (обстеження 2017 р.)



— допустимий; — задовільний; — критичний

Рисунок 3.9 – Загальний вид обстеження стану асфальтобетонного покриття на автомобільній дорозі міжнародного значення М03 Київ – Харків – Довжанський



■ – допустимий; ■ – задовільний; ■ – критичний

Рисунок 3.10 – Загальний вид обстеження стану асфальтобетонного покриття на автомобільній дорозі міжнародного значення М21 Житомир – Могилів-Подільський

Таблиця 3.1 – Результати натурних досліджень стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автомобільній дорозі міжнародного значення М03 Київ – Харків – Довжанський (ділянка обстеження 316 км)

№	Рівень деформування	Ступінь ураження	Глибина колії на асфальтобетонному покритті, мм	Загальний об'єм колії %/км
1	Перший	допустимий	<5	13/42
2	Другий	задовільний	<10	76/238
3	Третій	критичний	>10	11/36

Таблиця 3.2 – Результати натурних досліджень стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автомобільній дорозі міжнародного значення М21 Житомир – Могилів-Подільський (ділянка обстеження 31 км)

№	Рівень деформування	Ступінь ураження	Глибина колії на асфальтобетонному покритті, мм	Загальний об'єм колії %/км
1	Перший	допустимий	<5	20/6
2	Другий	задовільний	<10	38/12
3	Третій	критичний	>10	42/13

Таким чином, результати виконаних досліджень стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення

колії від дії температури та дії транспорту, підтверджують актуальність питання і свідчать про доцільність розробки методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

3.4.2 Визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетону

Для експериментальних досліджень використовували асфальтобетон у відповідності з [145 – 147]. Результати випробувань наведено в Додатку Б.

3.4.3 Оцінка стійкості асфальтобетонів до утворення колії

Перед випробуванням зразки виготовляли за допомогою секторного пресу (ПМА 218-21476215-450), що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші подібні умовам ущільнення котками. Базуючись на існуючому методі (СОУ 45.02-00018112-020) з метою визначення показника стійкості асфальтобетону накопичення залишкових деформацій у вигляді колії при багатоциклового повторного навантаженні за підвищених температур проводили лабораторні випробування [122].

Отримані результати експериментальних досліджень впливу рецептурно-структурних факторів на підвищення стійкості до утворення колії в асфальтобетоні, підтвердили відомі дані про підвищення зсувостійкості асфальтобетону за рахунок регулювання зернового складу, властивостей бітумних в'язучих, крім того, отримані кількісні дані та закономірності впливу режимів навантаження та конструктивно-технологічних факторів.

Результати випробування зразків асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій наведені на рис. 3.11.

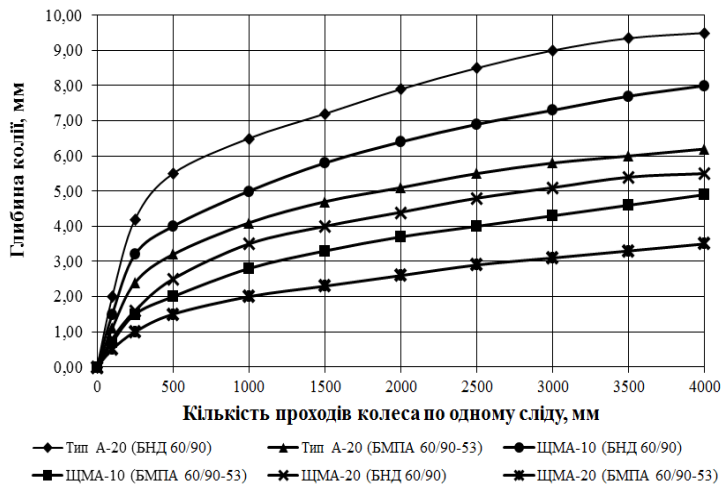


Рисунок 3.11 —
Залежність глибини колії від
кількості проходів
металевого колеса та виду
бітумного в'язучого в
асфальтобетоні (тип А,
ЩМА) за температури 50 °С
при навантаженні 700 Н

Аналіз отриманих результатів по накопиченню залишкових деформацій (рис. 3.11) свідчить, що найбільш стійким до утворення колії асфальтобетоном являється ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером, найменш стійким до утворення колії являється асфальтобетон типу А-20 на БНД 60/90, при тому значення глибини колії при 4000 проходів колеса в асфальтобетоні типу А-20 на БНД 60/90 більша в 2,7 рази в порівнянні з ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером. В той же час аналізуючи вплив навантаження на стійкість до утворення колії асфальтобетону можна сказати, що асфальтобетон на бітумі модифікованому полімерами (БМП), є більш стійким до утворення колії у порівнянні з асфальтобетоном на традиційному бітумі. Так, тип А-20 на бітумі, модифікованому полімерами, на 50 % стійкіший до утворення колії в порівнянні до типу А-20, на традиційному бітумі БНД 60/90 при 4000 проходів колеса. А, ЩМА-10 на бітумі модифікованому полімерами на 60 % стійкіший до утворення колії в порівнянні до ЩМА-10, на традиційному бітумі БНД 60/90 при 4000 проходів колеса. Крім того, ЩМА-20 на бітумі, модифікованому полімерами, на 60 % стійкіший до утворення колії в порівнянні з ЩМА-20, на традиційному бітумі БНД 60/90 при 4000 проходів колеса. Одержані порівняльні результати (рис. 3.11) асфальтобетонів типу А (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-20), з яких випливає, що мінімальне

значення глибини колії при температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить 3,5 мм для ЩМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів. З результатів дослідження можна сказати, що використовуючи асфальтобетонів на бітумах, модифікованих полімерами, можна підвищити стійкість до утворення колії асфальтобетонного покриття на 50 – 60 %.

3.4.4 Оцінка міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним шаром і асфальтобетонним покриттям

Результатами дослідження встановлено оптимальні витрати підґрунтовки, що складають від $0,3 - 0,7\text{ л/м}^2$ і суттєво залежить від виду асфальтобетону. Це свідчить про те, що при проектуванні асфальтобетонних шарів необхідно враховувати оптимальні параметри технології їх влаштування. Результати наведено в додатку Б.

3.4.5 Встановлення термов'язкопружнопластичних характеристик асфальтобетону

Аналітична залежність з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті потребує застосування характеристик, що описують термов'язкопружну поведінку асфальтобетонів (функція релаксації) та термов'язкопружнопластичну (функція модуля пластичності; функція, що відображає вплив комбінованих причин утворення колії від внутрішніх факторів; параметри, що відображають вплив циклічного навантаження).

Для визначення модуля пружності із асфальтобетонних сумішей виготовляли плити за допомогою секторного пресу [8, 122, 172].

Отримані результати модуля пружності випробуваних асфальтобетонів при різних температурах і часу дії навантаження наведені на рис. 3.12 – 3.15.

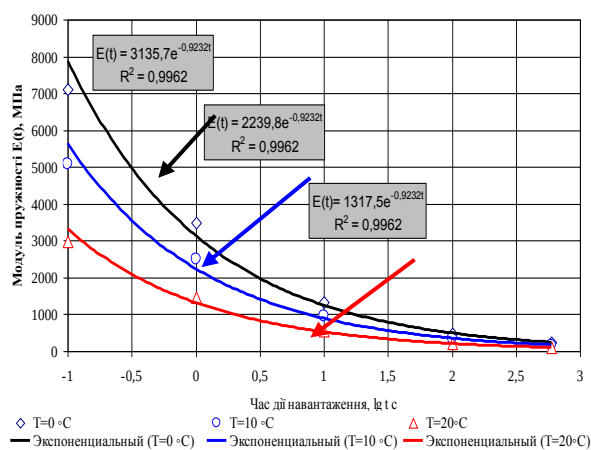


Рисунок 3.12 – Залежність модуля пружності щебеневомасикового асфальтобетону (ЩМА-20) від часу дії навантаження і температури

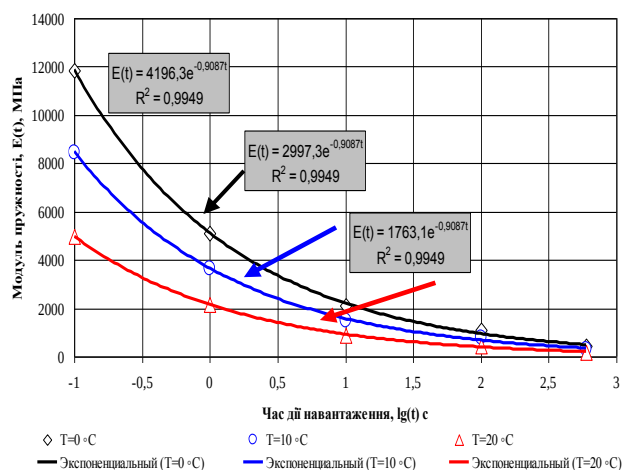


Рисунок 3.13 – Залежність модуля пружності щебеневомасикового асфальтобетону (ЩМА-10) від часу дії навантаження і температури

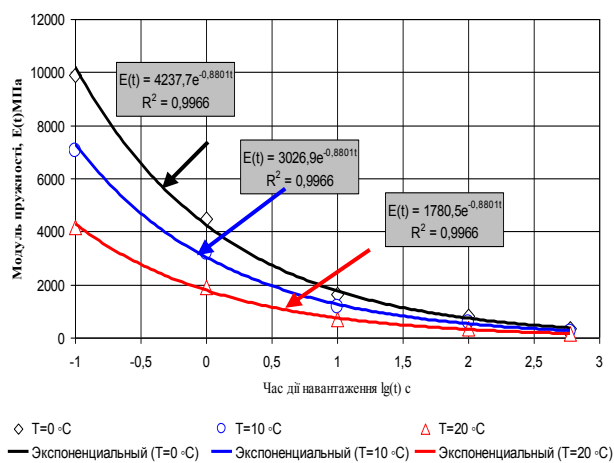


Рисунок 3.14 – Залежність модуля пружності асфальтобетону (Типу А-20 БМПА 60/90-53) від часу дії навантаження і температури

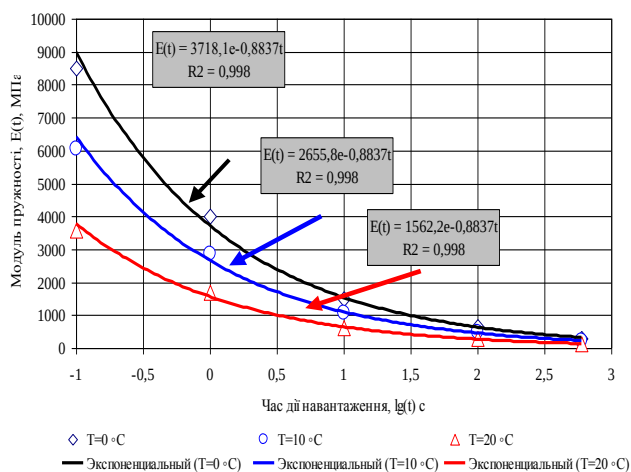


Рисунок 3.15 – Залежність модуля пружності асфальтобетону (типу А-20, БНД 60/90) від часу дії навантаження і температури

Отримані результати модуля пружності випробуваних асфальтобетонів при різних температурах і часу дії навантаження свідчать, що модуль пружності ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90 є найбільшим у порівнянні з

іншими асфальтобетонами, а найменший модуль пружності в ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90 при часу дії навантаження 0,1 с. Так, модуль пружності ЩМА-10 становить при температурі 20°C та 10°C на 60 % більше в порівнянні з ЩМА-20 при аналогічній температурі та часу дії навантаження 0,1 с., а при 0°C на 56 % більший в порівнянні з ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90. Аналіз модуля пружності асфальтобетону типу А-20 свідчить, що застосування бітуму, модифікованого полімером (БМП), дозволяє підвищити модуль пружності. Так результати досліджень показали, що модуль пружності асфальтобетону типу А-20 на бітумі, модифікованому полімером, при температурі 20°C та 10°C на 12 – 15 % більший у порівнянні з асфальтобетоном типу А-20 на бітумі БНД 60/90 при аналогічній температурі та часу дії навантаження 0,1 с., а при 0°C на 15 % більший в порівнянні з асфальтобетоном типу А-20 на бітумі БНД 60/90.

На основі отриманих експериментальних даних по функції повзучості та модулях пружності для досліджуваних асфальтобетонів побудовані розрахункові криві функції релаксації по виразу $R(t)=1/\Pi(t)$. Наводимо криві функції релаксації, функції модуля деформації та функції модуля пластичності (рис. 3.16 – 3.23 та Додаток Б).

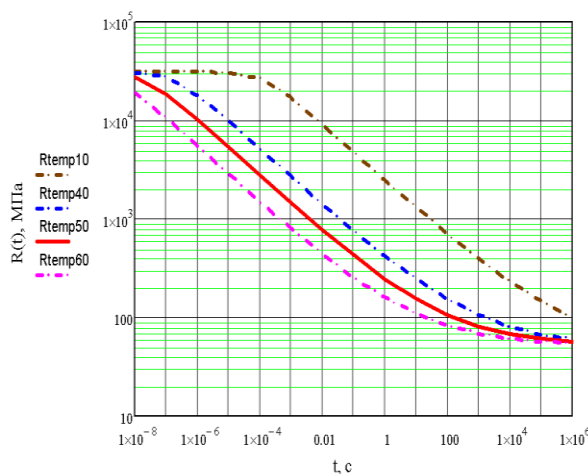


Рисунок 3.16 – Криві функції релаксації $R(t)$ асфальтобетону типу А-20 (на бітумі модифікованому полімером)

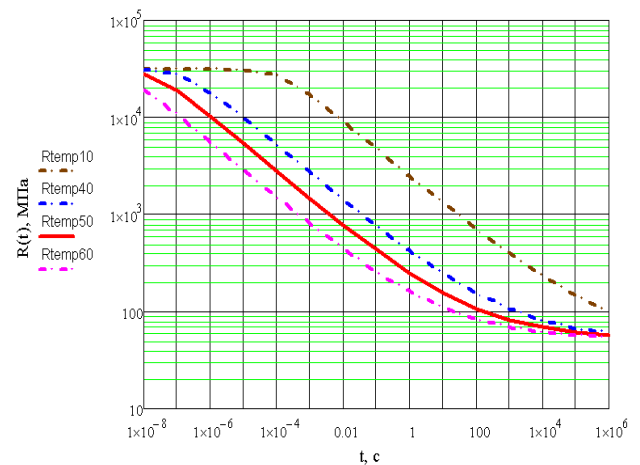


Рисунок 3.17 – Криві функції релаксації $R(t)$ асфальтобетону типу Б-20 (на бітумі модифікованому полімером)

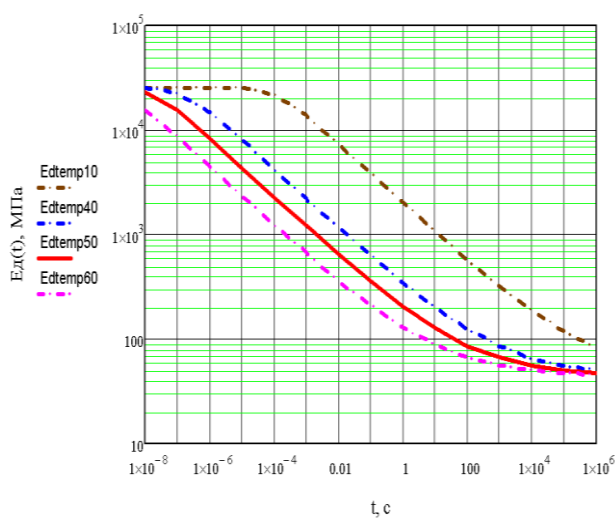


Рисунок 3.18 – Криві функції модуля деформації $E_d(t)$ асфальтобетону типу А-20 (на бітумі модифікованому полімером)

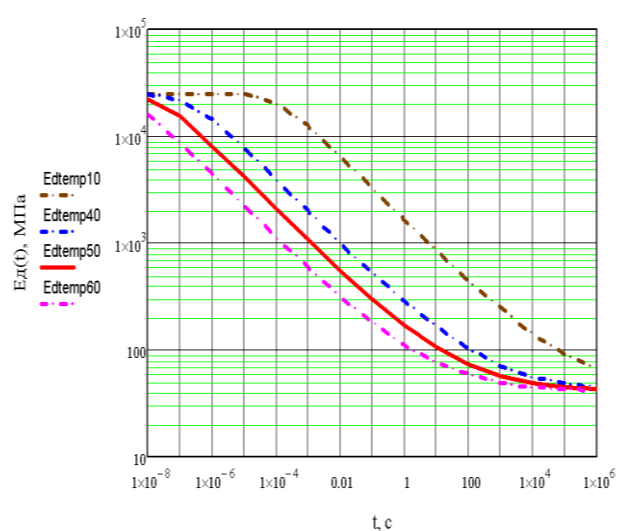


Рисунок 3.19 – Криві функції модуля деформації $E_d(t)$ асфальтобетону типу Б-20 (на бітумі модифікованому полімером)

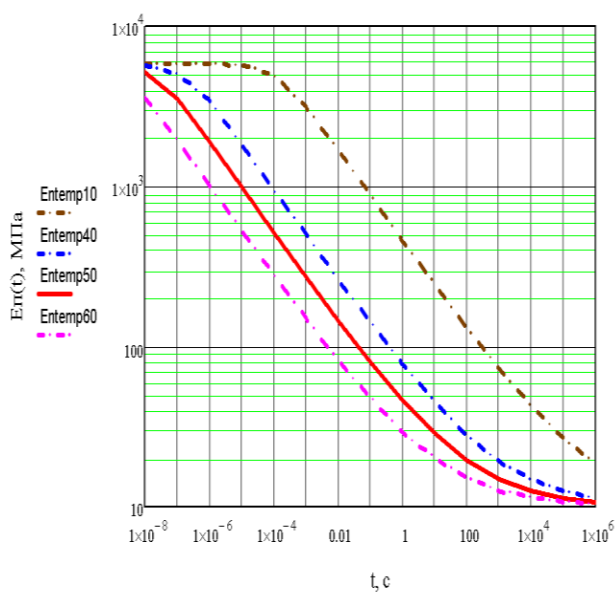


Рисунок 3.20 – Криві функції модуля пластичності $E_n(t)$ асфальтобетону типу А-20 (на бітумі модифікованому полімером)

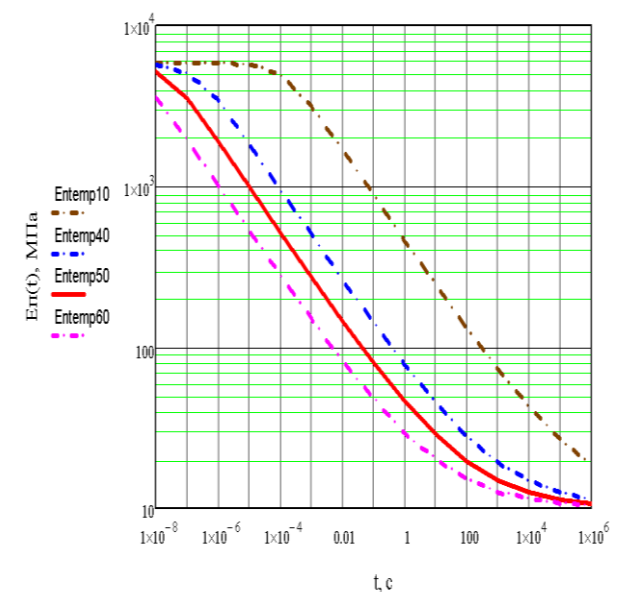


Рисунок 3.21 – Криві функції модуля пластичності $E_n(t)$ асфальтобетону типу Б-20 (на бітумі модифікованому полімером)

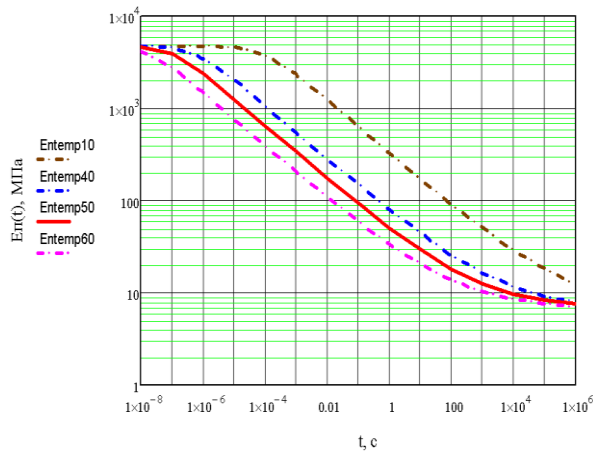


Рисунок 3.22 – Криві функції модуля пластичності $E_n(t)$ ЩМА-10 (на бітумі модифікованому полімером)

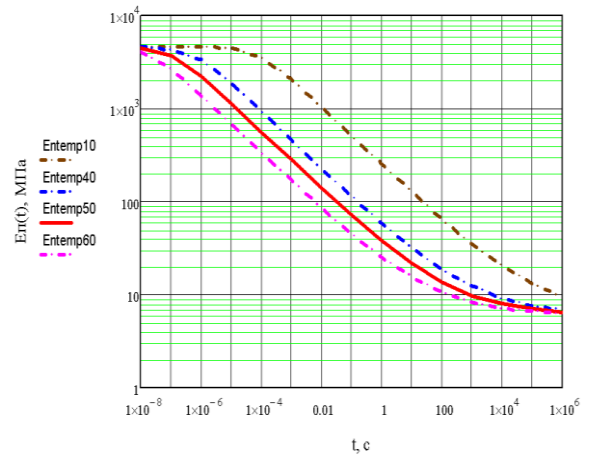


Рисунок 3.23 – Криві функції модуля пластичності $E_n(t)$ ЩМА-20 (на бітумі модифікованому полімером)

Аналітична залежність з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті потребує застосування характеристик, що описують термов'язкопружну поведінку асфальтобетонів (функція релаксації) та термов'язкопружнопластичну (функція модуля пластичності; функція, що відображає вплив комбінованих причин утворення колії від внутрішніх факторів; параметри, що відображають вплив циклічного навантаження). Результати дослідження наведено в додатку Б.

Отримані параметри функції модуля пластичності асфальтобетону на основі функції релаксації та модуля пластичності наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри функції модуля пластичності асфальтобетону

Шифр асфальтобетону	Параметри функції БТ		Параметри модуля пластичності		
	Q, °C	p, град-1	$E_{п\ a/6}$, МПа	η , с	λ
1	2	3	4	5	6
ЩМА-10 (БМПА 60/90-53)	20	0,171	4754	$1,68 \times 10^{-5}$	0,290
ЩМА-20 (БМПА 60/90-53)	20	0,165	4586	$1,53 \times 10^{-5}$	0,300
Б-10 (БМПА 60/90-53)	20	0,240	5273	$1,43 \times 10^{-5}$	0,284
Б-20 (БМПА 60/90-53)	20	0,230	51 73	$1,33 \times 10^{-5}$	0,289
А-10 (БМПА 60/90-53)	20	0,0231	5197	$1,38 \times 10^{-5}$	0,287
А-20 (БМПА 60/90-53)	20	0,235	5120	$1,38 \times 10^{-5}$	0,287

3.4.6 Результати визначення стандартних фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами

Визначена оптимальну вологість та максимальна щільність скелету ґрунту та стандартних фізико-механічних властивостей укріплених ґрунтів наведена в Додатку Б.

3.4.7 Результати визначення розрахункових властивостей ґрунтів укріплених неорганічними в'язучими речовинами

Результати визначення межі міцності на розтяг при згині ґрунтів укріплених різними добавками наведено на рис. 3.24 – 3.29.

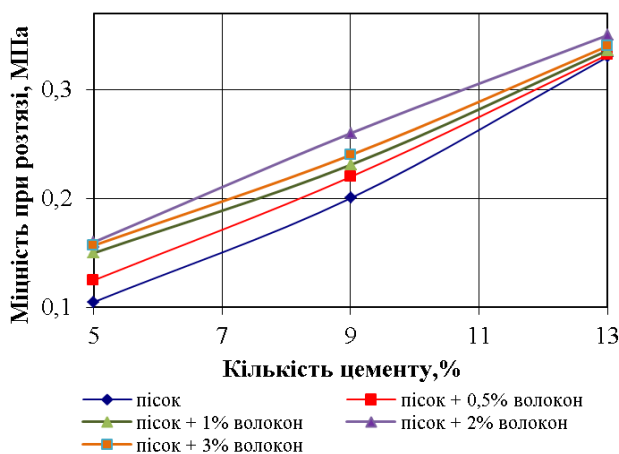


Рисунок 3.24 – Залежність міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 7-му добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (пісок)

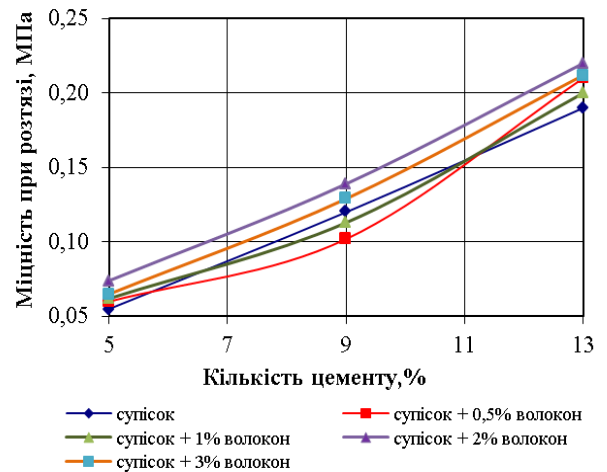


Рисунок 3.25 – Залежність міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 7-му добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (супісок)

Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для піску та різній кількості волокон (рис. 3.24), можна сказати наступне, що на 7-му добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 21% , 47%, 58%, 55 % відповідно; при 9% ПЦ

вища на 10 %, 16 %, 31 %, 21 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 1 %, 2 %, 6 %, 3 % відповідно. Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для супіска та різній кількості волокон (рис. 3.25), можна сказати наступне, що на 7-му добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 9% , 13%, 35%, 18 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 0 %, 0 %, 16 %, 8 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 11 %, 5 %, 16 %, 12 % відповідно.

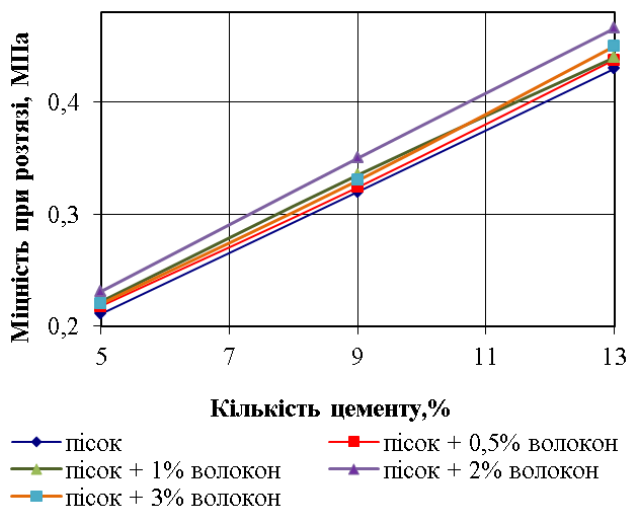


Рисунок 3.26 – Залежність міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 28-му добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (пісок)

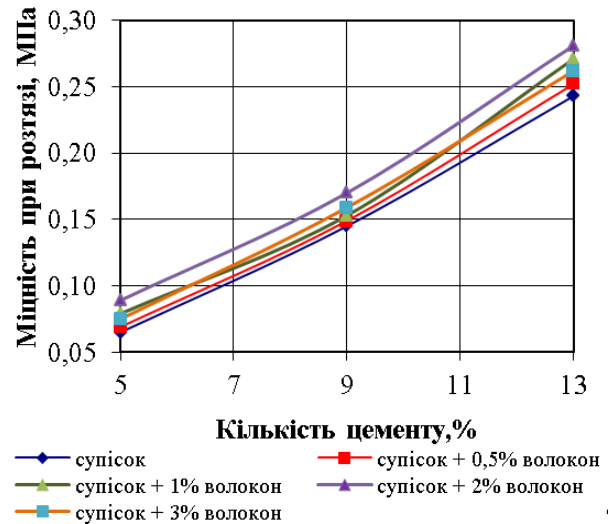


Рисунок 3.27 – Залежність міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 28-му добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (супісок)

Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для піску та різній кількості волокон (рис. 3.26), можна сказати наступне, що на 28-му добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 4% , 6%, 12%, 5 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 2 %, 5 %, 11 %, 4 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 2 %, 3 %, 9 %, 5 % відповідно. Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу

твердіння при 5% ПЦ для супіска та різній кількості волокон (рис. 3.27), можна сказати наступне, що на 28-му добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 6%, 22%, 37%, 15 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 3 %, 6 %, 17 %, 10 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 4 %, 12 %, 16 %, 8 % відповідно.

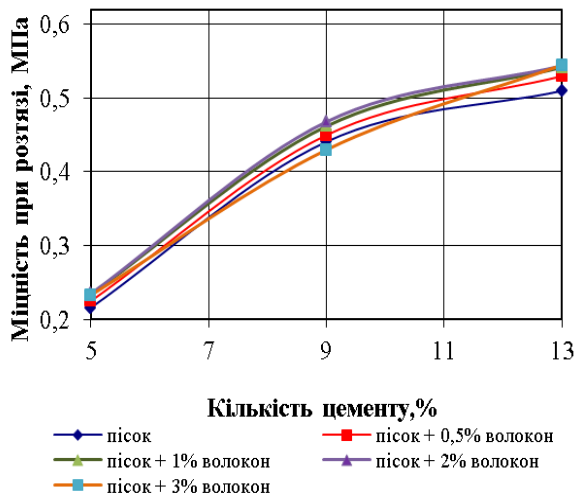


Рисунок 3.28 – Залежність

міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 90-ту добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (підсок)

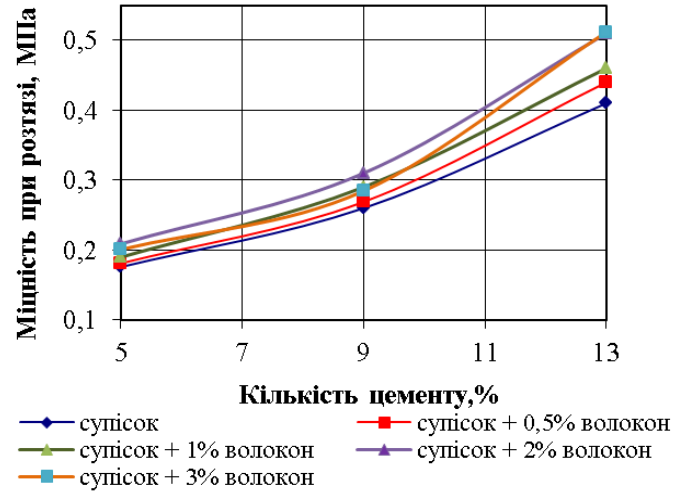


Рисунок 3.29 – Залежність

міцності на розтяг при згині від кількості ПЦ на 90-ту добу, контрольні зразки та зразки «цемент + волокна» (супідсок)

Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для піску та різній кількості волокон (рис. 3.28), можна сказати наступне, що на 90-ту добу в порівнянні з контрольним зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 5%, 9%, 10%, 9 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 2 %, 5 %, 6 %, 1 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 4 %, 7 %, 7 %, 7 % відповідно. Результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для супіска та різній кількості волокон (рис. 3.29), можна сказати наступне, що на 90-ту добу в порівнянні з контрольним

зразком міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 4%, 11%, 26%, 20 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 4 %, 14 %, 24 %, 12 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 8 %, 14 %, 28 %, 28 % відповідно.

Результати визначення модуля пружності досліджуваних зразків наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати визначення модуля пружності укріпленого ґрунту

Шифр	Кількість в'язучого	Модуль пружності піску, E , МПа	Модуль пружності супіску, E , Мпа
I	цемент – 5%	298	108
I.0.5	цемент – 5% + 0,5% волокон	303	109
I.1	цемент – 5% + 1% волокон	313	111
I.2	цемент – 5% + 2% волокон	319	118
I.3	цемент – 5% + 3% волокон	300	107
II	цемент – 9%	438	224
II.0.5	цемент – 9 % + 0,5% волокон	452	239
II.1	цемент – 9 % + 1% волокон	460	273
II.2	цемент – 9% + 2% волокон	509	314
II.3	цемент – 9% + 3% волокон	462	243
III	цемент – 13%	628	359
III.0.5	цемент – 13% + 0,5% волокон	632	386
III.1	цемент – 13% + 1% волокон	677	498
III.2	цемент – 13% + 2% волокон	716	536
III.3	цемент – 13% + 3% волокон	672	356

3.4.8 Результати випробувань матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу

Після підготовленої моделі конструкції дорожнього одягу за методикою, конструкції навантажують та фіксують осідання штампу при кожній ступені навантаження виконують розвантаження з фіксацією відновлення деформації конструкції. Залежність прогину моделі дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження зображено на рис. 3.30 – 3.39 та наведено зміну модуля пружності шарів конструкції в залежності від зміни вологості на рис. 3.40.

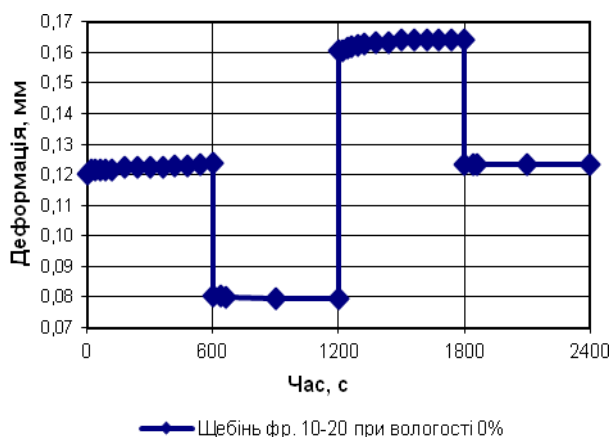


Рисунок 3.30 – Залежність

прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

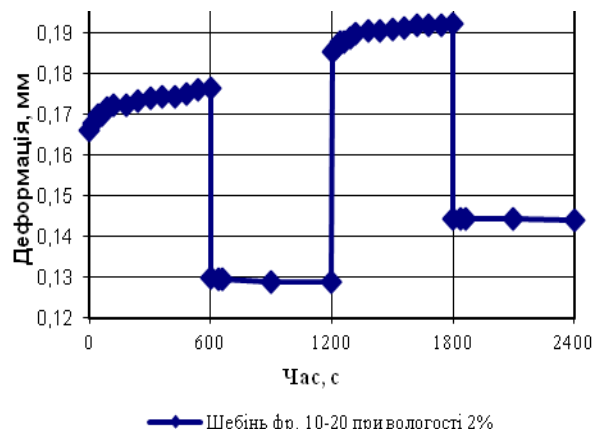


Рисунок 3.31 – Залежність

прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

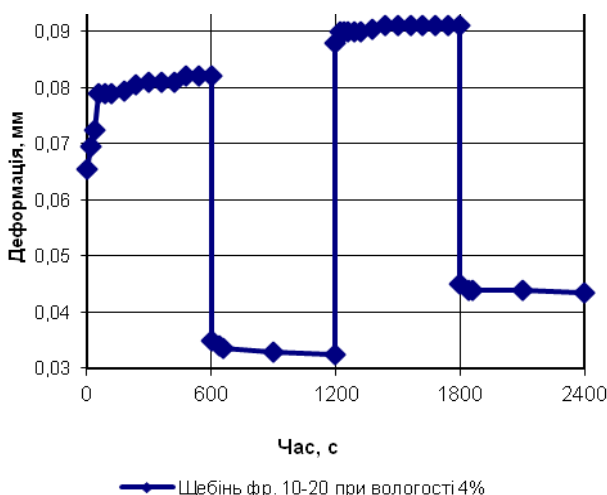


Рисунок 3.32 – Залежність

прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

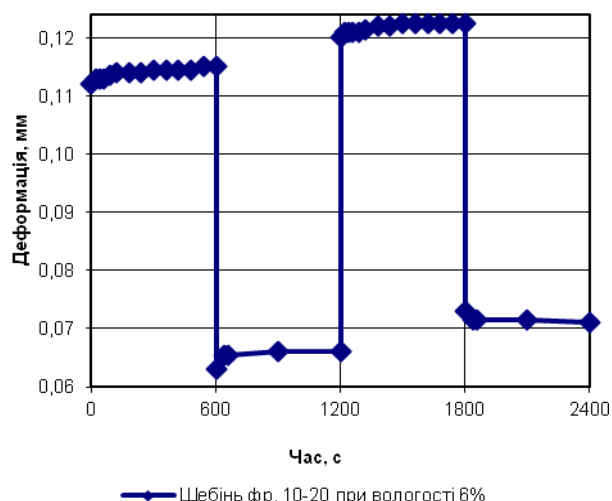


Рисунок 3.33 – Залежність

прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

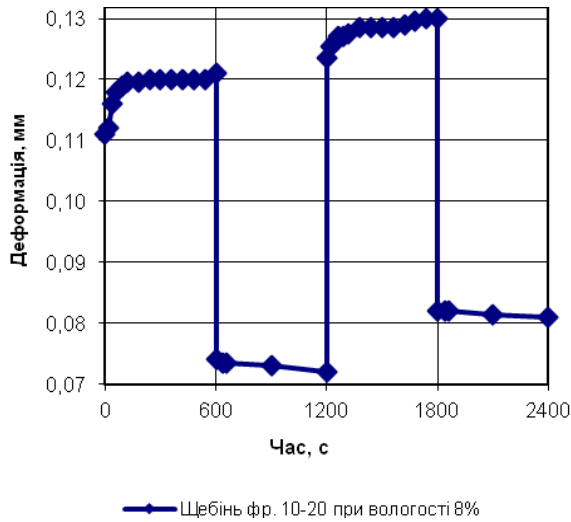


Рисунок 3.34 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

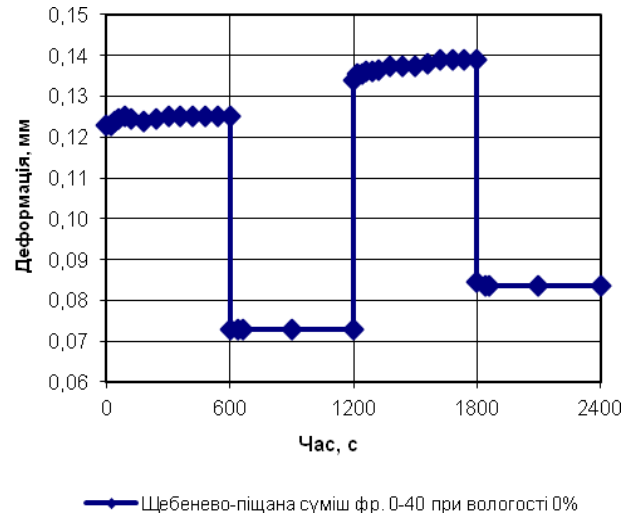


Рисунок 3.35 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

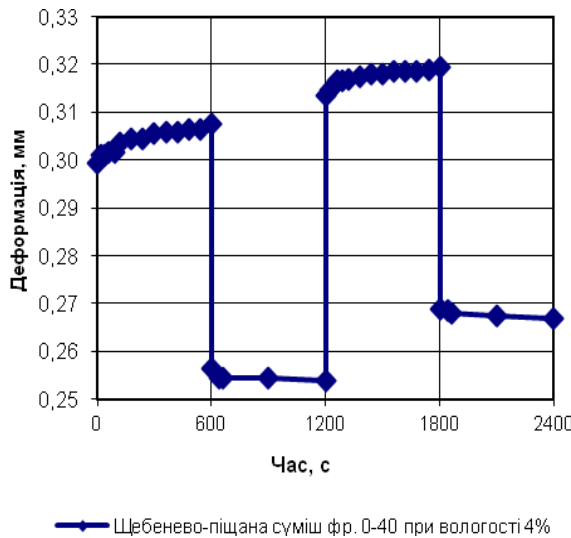


Рисунок 3.36 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

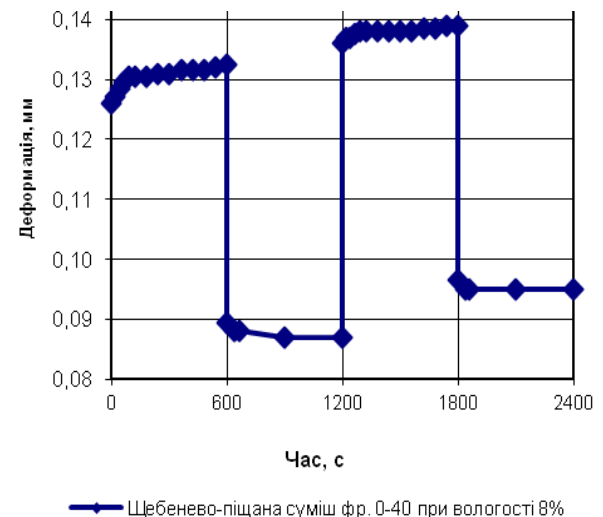


Рисунок 3.37 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

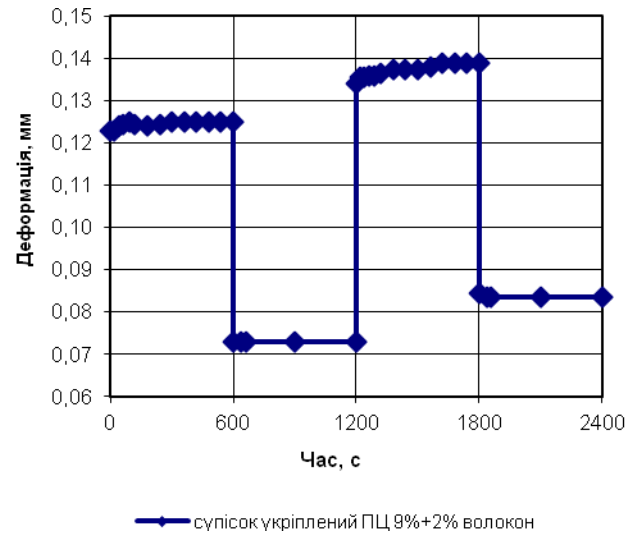
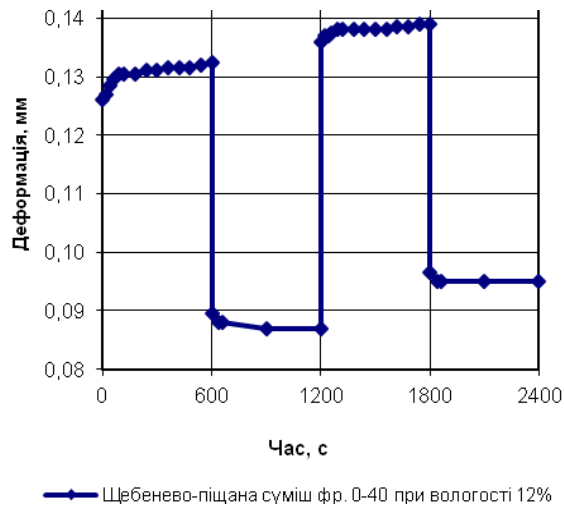


Рисунок 3.38 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

Рисунок 3.39 – Залежність прогина моделі шару дорожньої конструкції від дії на штамп статичного навантаження

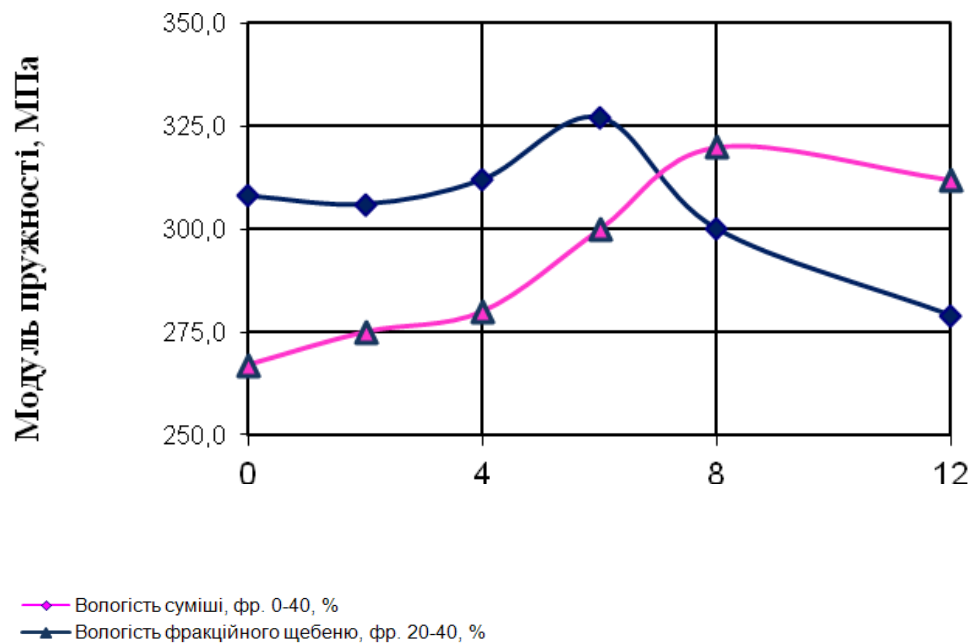


Рисунок 3.40 – Залежність зміни модуля пружності шарів конструкції дорожнього одягу в залежності від вологості

На основі проведених досліджень побудовано функції релаксації для матеріалів шарів основи нежорсткого дорожнього одягу, рис. 3.41 – 3.45

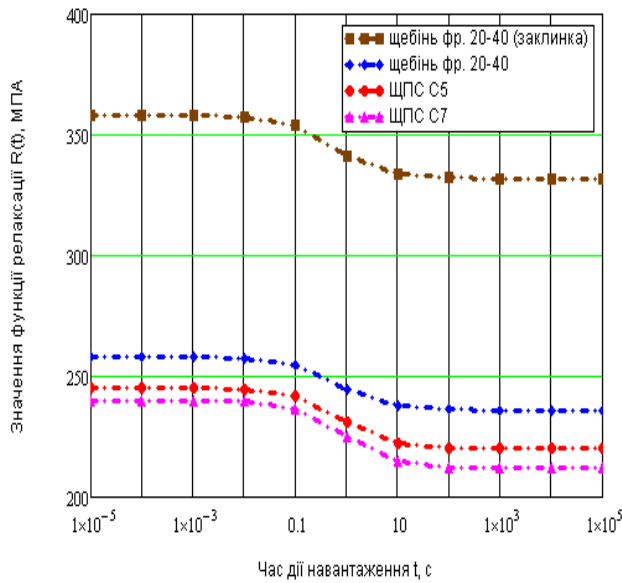


Рисунок 3.41 – Розрахункове значення функції релаксації для фракційного щебеню, щебенево-піщаної суміші

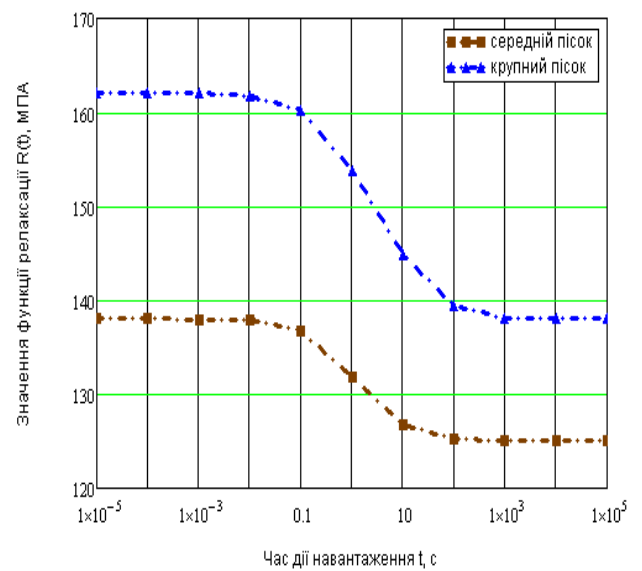


Рисунок 3.42 – Розрахункове значення функції релаксації для середнього та крупного піску

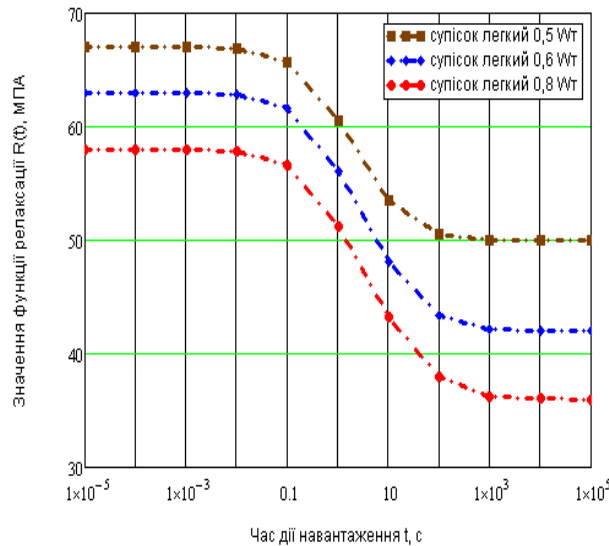


Рисунок 3.43 – Розрахункове значення функції релаксації для суглинка при вологості 0,5 – 0,8 від межі текучості (Wt)

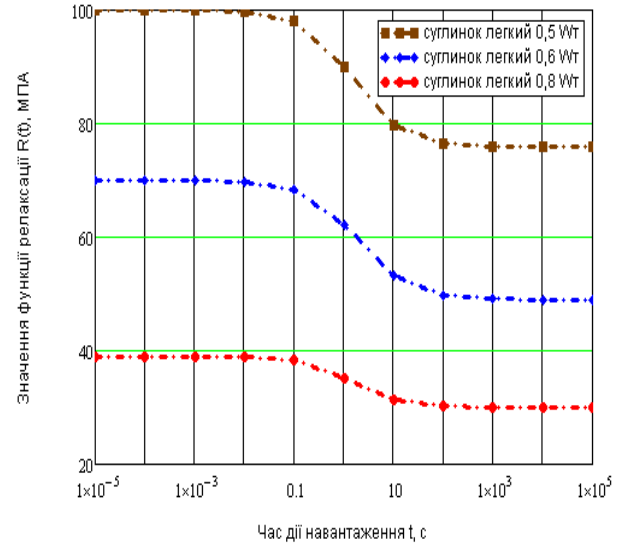


Рисунок 3.44 – Розрахункове значення функції релаксації для суглинка при вологості 0,5 – 0,8 від межі текучості (Wt)

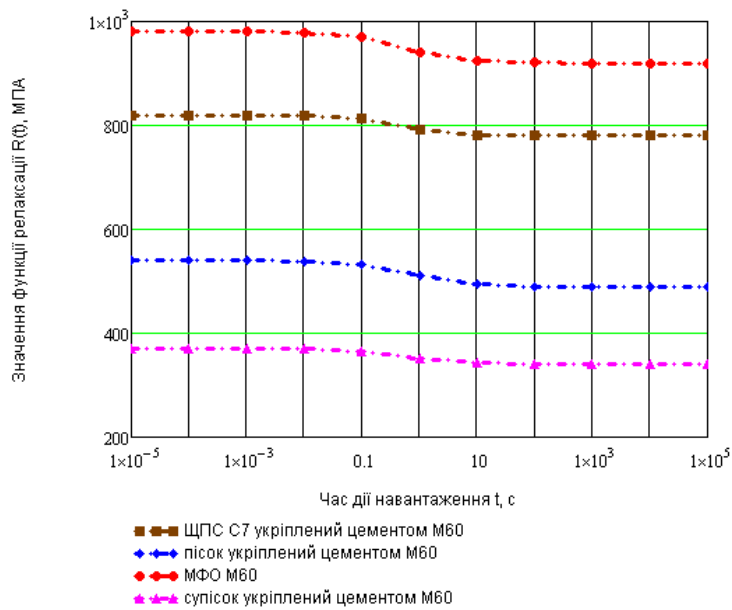


Рисунок 3.45 – Розрахункове значення функції релаксації для матеріалів укріплених неорганічними в'язкими речовинами

Отримані результати випробувань матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу дозволили визначити на основі отриманих даних залежності переміщень матеріалів основи при заданій вологості та різному часі дії навантаження визначити параметри функцій релаксації та модуля деформації. Результати параметрів наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри функції релаксації та коефіцієнт в'язкопластичності матеріалів

Шифр матеріалу	Параметри функції релаксації				Коефіцієнт в'язкопластичності
	E_{MT} , МПа	E_{dT} , МПа	β	χ	k
1	2	3	4	5	6
Укріплений ґрунт, М 60	540	490	6,1	4,1	0,98– 0,96
Щебінь, влаштований методом заклинки (фракції 20 – 40 мм)	358	332	6,0	4,0	0,97– 0,93
Щебенево-піщана суміш (фракції 0 – 40 мм)	258	236	5,9	3,9	0,96– 0,91
Пісок середній	138	125	9,0	3,75	0,94– 0,88
Суглинок	70	49	5,8	2,1	0,91– 0,83
Примітка: Коефіцієнт пластичності для матеріалу шарів залежить від вологості					

3.4.9 Аналіз результатів стендових експериментальних досліджень коліє стійкості асфальтобетонного покриття на кільцевому стенді

Перед початком випробувань на стенді була визначена міцність конструкції дорожнього одягу за загальним модулем пружності. Для цього були проведені виміри пружного прогину поверхні покриття на кожній з чотирьох секцій стенду в контрольних створах. Вимірювання прогинів проводились під спареними колесами одного з електромобілів з розрахунковим навантаженням на вісь. Виміри проведені на лівій і правій коліях руху електромобілів. Під час вимірів пружного прогину визначалася вологість ґрунту земляного полотна під дорожнім одягом.

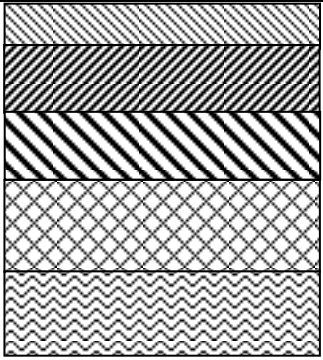
Перед кожною серією проходів електромобілів проводились вимірювання поперечного профілю покриття у контрольних поперечниках на кожній секції стенду.

Під час руху електромобілів вимірювалась температура покриття.

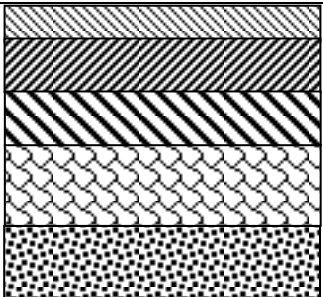
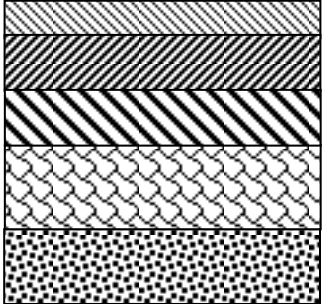
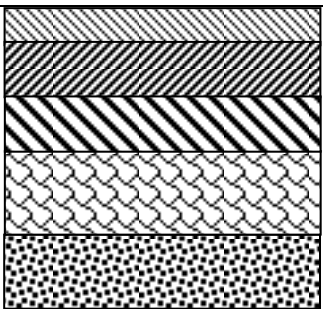
Після закінчення кожної серії проходів проводиться візуальна оцінка стану покриття. Зовнішній вигляд покриття фіксується за допомогою цифрового фотоапарату.

Досліджувані конструкції дорожнього одягу наведені в таблиці 3.6.

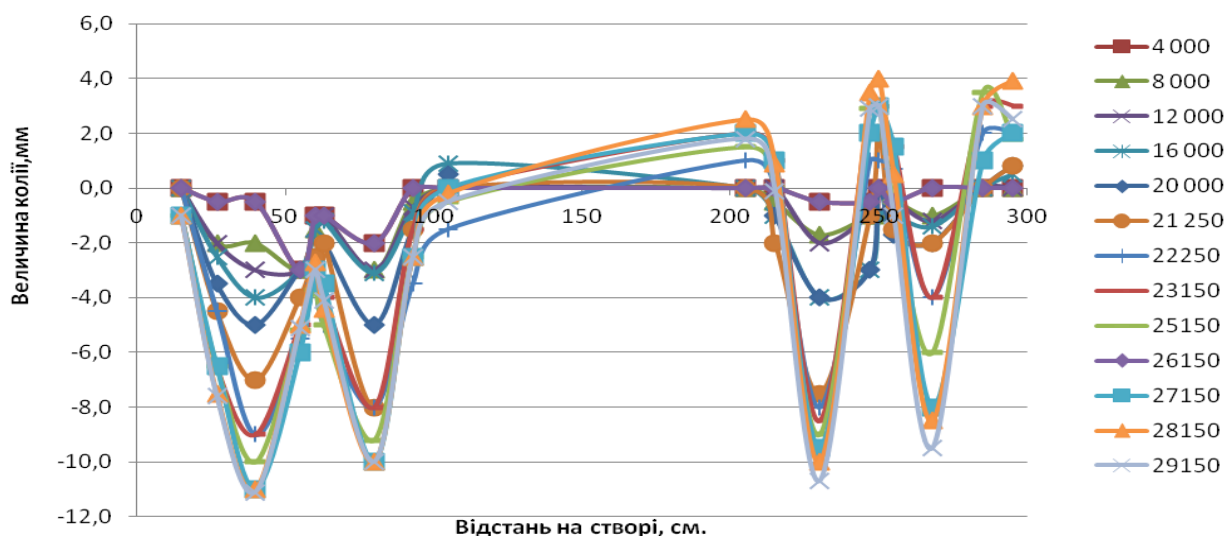
Таблиця 3.6 – Конструкції експериментального дорожнього одягу

№ п/п	Конструкція дорожнього одягу	Назва матеріалу та товщина шару в см
I (сектор) 2010, 2011 рік		4 см – дрібнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, І марки, на бітумі БНД 60/90 з полімерними добавками “Бутонал NS – 198” (зовнішня колія) та “Елвалої” (внутріш. Колія) 6 см – крупнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, І марки, на бітумі БНД 60/90; 8 см – крупнозернистий пористий асфальтобетон, І марки; 12 см – чорний щебінь за ТУ У В. 2. 7 03450778.205-2000; 16 см – щебінь 40-70мм за методом заклинки; - геотекстиль; 30 см – пісок дрібнозернистий Ґрунт земляного полотна – суглинок пілуватий

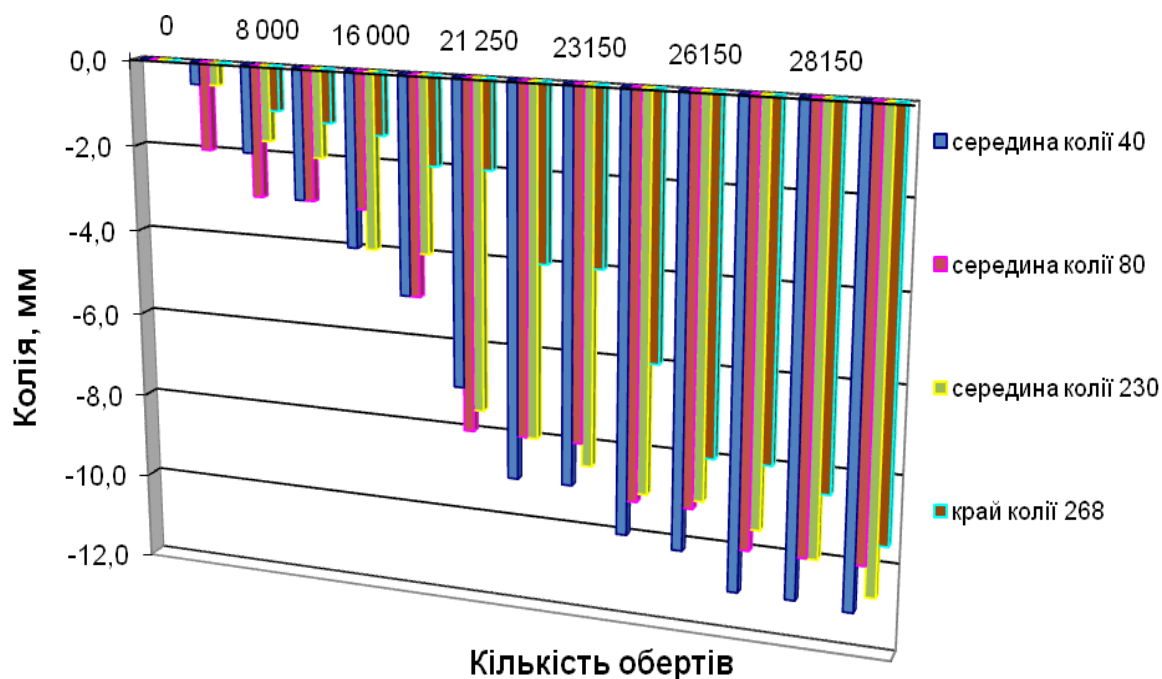
Кінець таблиці 3.6

II (сектор) 2010, 2011 рік		5 см – щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 6 см – крупнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, I марки, на бітумі БНД 60/90; 8 см – крупнозернистий пористий асфальтобетон, I марки; 12 см – чорний щебінь за ТУ У В. 2. 7 03450778.205-2000; 16 см – щебінь 40-70мм за методом заклинки; 30 см – пісок дрібнозернистий Ґрунт земляного полотна - суглинок пілуватий
III (сектор) 2010- 2011 рік		4 см – щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-10 6 см – крупнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, I марки, на бітумі БНД 60/90; 8 см – крупнозернистий пористий асфальтобетон, I марки; 12 см – чорний щебінь за ТУ У В. 2. 7 03450778.205-2000; 16 см – щебінь 40-70мм за методом заклинки; 30 см – пісок дрібнозернистий Ґрунт земляного полотна - суглинок пілуватий
IV (сектор) 2010- 2011 рік		4 см – дрібнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, I марки, на бітумі БНД 60/90 (внутрішня колія) і з полімерною добавкою “Бутонал NS – 198” (зовнішня колія) 6 см – крупнозернистий щільний асфальтобетон тип Б, I марки, на бітумі БНД 60/90; 8 см – крупнозернистий пористий асфальтобетон, I марки; 12 см – чорний щебінь за ТУ У В. 2. 7 03450778.205-2000; 16 см – щебінь 40-70 мм за методом заклинки; 30 см – пісок дрібнозернистий Ґрунт земляного полотна - суглинок пілуватий

Результати вимірювання колійності наведено на рис. 3.46 – 3.49.

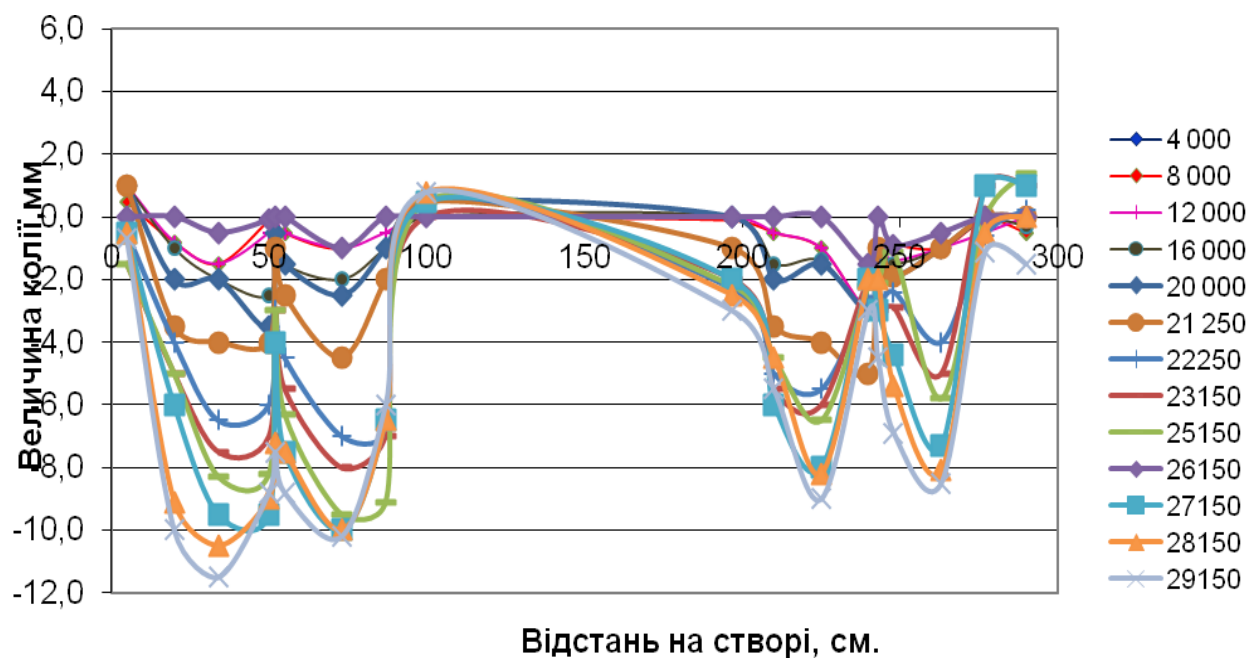


а) динаміка наростання колії на підсекції I (створ I)

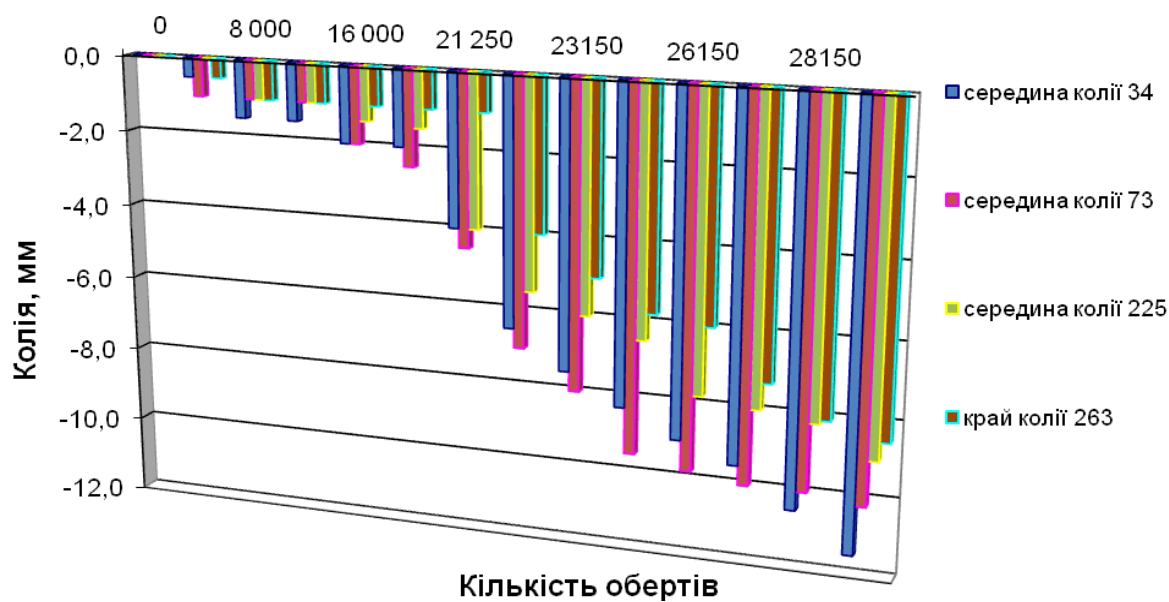


б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.46 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції I (створ I)

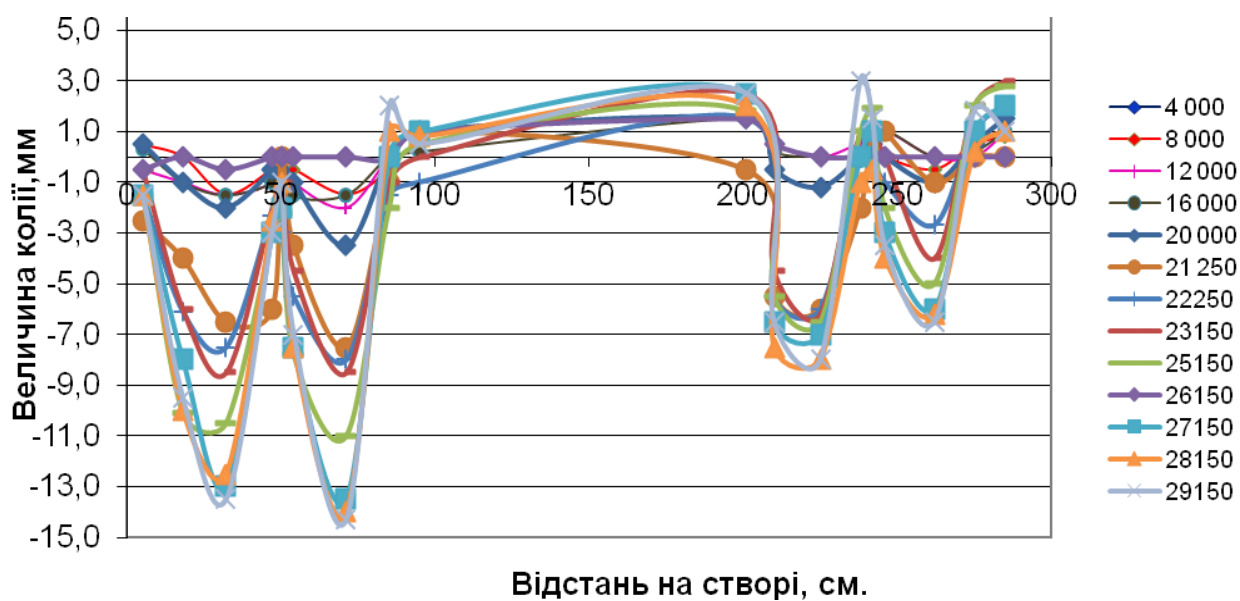


а) динаміка наростання колії на підсекції II (створ VI)

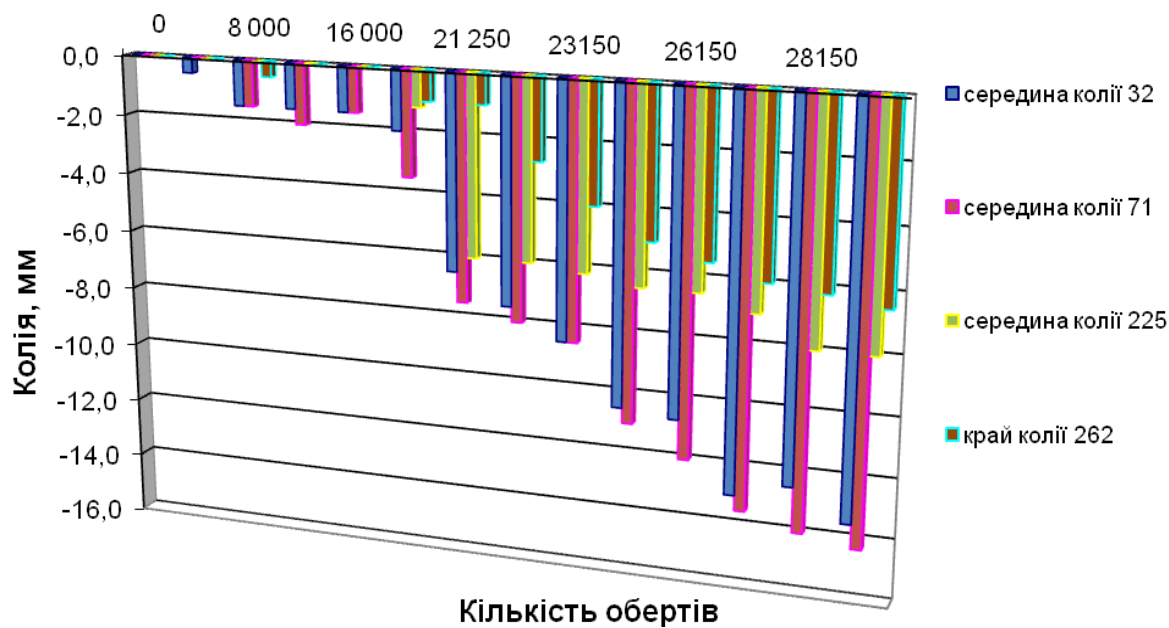


б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.47 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції II (створ VI)

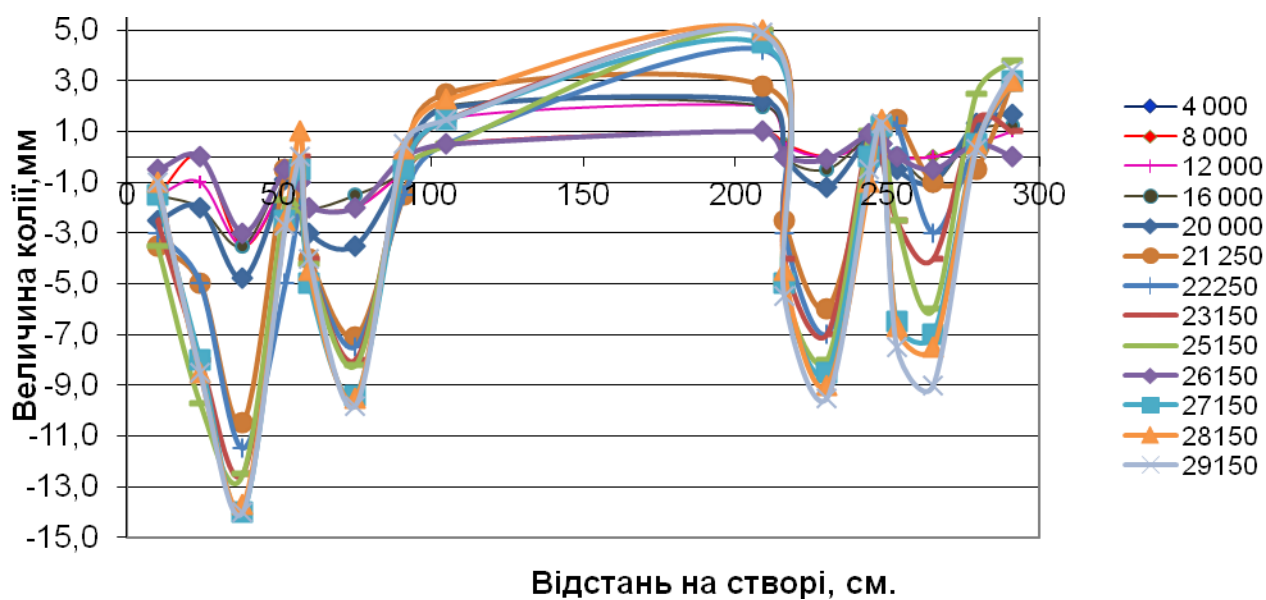


а) динаміка наростання колії на підсекції III (створ VII)

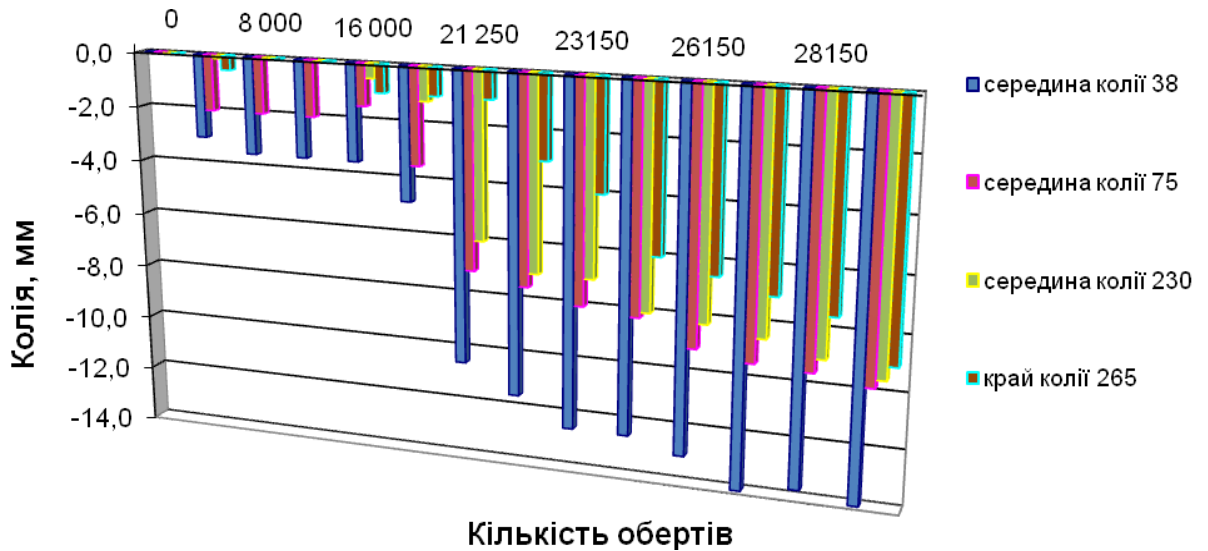


б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.48 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції III (створ VII)



а) динаміка наростання колії на підсекції VI (створ X)



б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

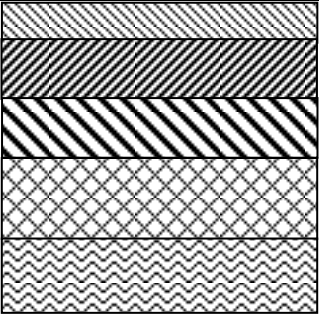
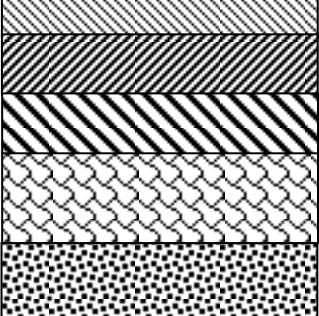
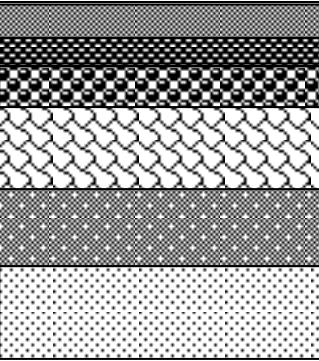
Рисунок 3.49 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції VI (створ X)

Отже, різні типи асфальтобетону випробовувалися в абсолютно однакових умовах, але величина колії, яка виникла на кожному з них, різна. Це свідчить про неоднакову зсувостійкість матеріалів. За результатами проведених досліджень можна зазначити, що найбільш зсувостійким є щебенево-мастиковий асфальтобетон з максимальним розміром мінерального матеріалу – 20 мм, а найменш зсувостійким виявився асфальтобетон типу «Б». Результати стендових досліджень показують, що застосування модифікованих бітумів підвищує зсувостійкість традиційного асфальтобетону типу «Б». Результати визначення колії на даних конструкціях зі зміною верхнього шару покриття наведено в додатку Б.

Підготовлення для досліджень конструкції дорожнього одягу згідно з програмою випробувань піддавалися впливу транспортного навантаження, виконувалися вимірювання показників напружено-деформованого стану та водно-теплогового режиму, а також велося спостереження за станом покриття з фіксацією моментів появи руйнувань і залишкових деформацій [115].

Досліджувані конструкції дорожнього одягу наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Конструкції експериментального дорожнього одягу

№ п/п	Конструкція дорожнього одягу	Назва матеріалу та товщина шару в см
1 (еталон) 2010, 2013 рік		Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий тип Б, марки І на бітумі модифікованому полімером БМП 60/90-52, h = 5 см; Асфальтобетон щільний, крупнозернистий тип Б, марки І на бітумі БНД 60/90, h = 10 см; Асфальтобетон пористий, крупнозернистий, марки І, h = 10 см; Щебінь фр. 20-40 мм, h = 20 см; Пісок, h = 20 см; Ґрунт земляного полотна – суглинок пілуватий
3 2010, 2013 рік		Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-10, на бітумі модифікованому полімером БМП 60/90-52, h = 5 см; Асфальтобетон щільний, крупнозернистий тип Б, марки І на бітумі БНД 60/90, h = 10 см; Асфальтобетон пористий, крупнозернистий, марки І, h = 10 см; Шар основи, влаштований за методом холодного ресайклінгу, h = 20 см; Щебенево – піщана суміш С5, h = 18 см; Ґрунт земляного полотна - суглинок пілуватий
3 ² (3 ²¹) 2013- 2014 рік		Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером БМП 60/90-52, h = 5 см; Підґрунтовка бітумною емульсією Асфальтобетон щільний, крупнозернистий (максимальна крупність мінеральних зерен до 20 мм), тип А, марки І на бітумі БНД 60/90, h = 8 см; Асфальтобетон пористий, дрібнозернистий (максимальна крупність мінеральних зерен до 20 мм) марки І, h = 8 см; Щебенево-піщана суміш С7, укріплена цементом марки М 60, h = 15 см; Щебенево-піщана суміш С5, h = 18 см; Пісок, h = 20 см; Ґрунт земляного полотна - суглинок.

На секції 1 (дослідження 2010 – 2013 рр.), конструкція дорожнього одягу являється еталонною, так як в ній не застосовуються шари з укріпленими матеріалами, в нижньому шарі передбачено застосування пористого крупнозернистого асфальтобетону тип Б з максимальною крупністю мінеральних зерен 40 мм, І марки на бітумі БНД 60/90. Верхній шар покриття з асфальтобетону типу Б-20 на не модифікованому полімером бітумі, а нижній шар покриття з асфальтобетону типу Б-40 і підґрунтовка між ними на не модифікованій бітумній емульсії. Шари основи з найбільш поширених технологічних матеріалів: на ґрунті земляного полотна шар піску товщиною 20 см; шар з щебеню фракції 20-40 товщиною 20 см.

На секції 3 (дослідження 2010 – 2013 рр.), в нижньому шарі передбачено застосування пористого крупнозернистого асфальтобетону тип Б з максимальною крупністю мінеральних зерен 40 мм, І марки на бітумі БНД 60/90. Верхній шар покриття з ЩМА-10 на модифікованому полімером бітумі, а нижній шар покриття з асфальтобетону типу Б-40 і підґрунтовка між ними на не модифікованій бітумній емульсії. Шари основи: на ґрунті земляного полотна шар піщаної суміші С5 товщиною 18 см; шар влаштований за методом холодного ресайклінгу товщиною 20 см.

На секції 3²¹ (дослідження 2013 – 2014 рр.), покриття відрізняється від базового варіанту тим, що в нижньому шарі передбачено застосування щільного дрібнозернистого асфальтобетону тип А з максимальною крупністю мінеральних зерен 20 мм, І марки на бітумі модифікованому полімером БМП 60/90-52. В тому числі на підсекції 3²¹ верхній шар покриття з ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером, а нижній шар покриття з асфальтобетону типу А і підґрунтовка між ними на модифікованому бітумі. Шари основи з найбільш поширених технологічних матеріалів: на ґрунті земляного полотна шар піску товщиною 20 см; шар з щебенево-піщаної суміші С-5 товщиною 18 см; шар з щебенево-піщаної суміші С-7 товщиною 15 см, укріпленою цементом.

Всі конструкції, що передбачені для будівництва за розрахунками відповідають усім критеріям граничного стану. Розрахункові характеристики асфальтобетону, застосовані для розрахунку конструкцій дорожнього одягу, згідно з ВБН В.2.3-218-186 [39].

При стендових випробуваннях здійснювали проїзди випробувальних транспортних засобів по ділянках, влаштованим ДП «Дорожній контроль якості», за якими вели спостереження (рис. 3.50). Витривалість асфальтобетону визначалася шляхом оцінки стійкості покриття до утворення колії під дією проходів електромобілів з навантаженням на кожен вісь, рівну розрахунковій, що склало 11,5 т. Перед початком руху електромобілів і далі після кожних 400 оборотів стенду (один оборот стенду дорівнює двом

проходах електромобілів або чотирьом проходах розрахункових осей по кожному з контрольних створів), проводилися вимірювання поперечного профілю покриття стенду на контрольних створах.

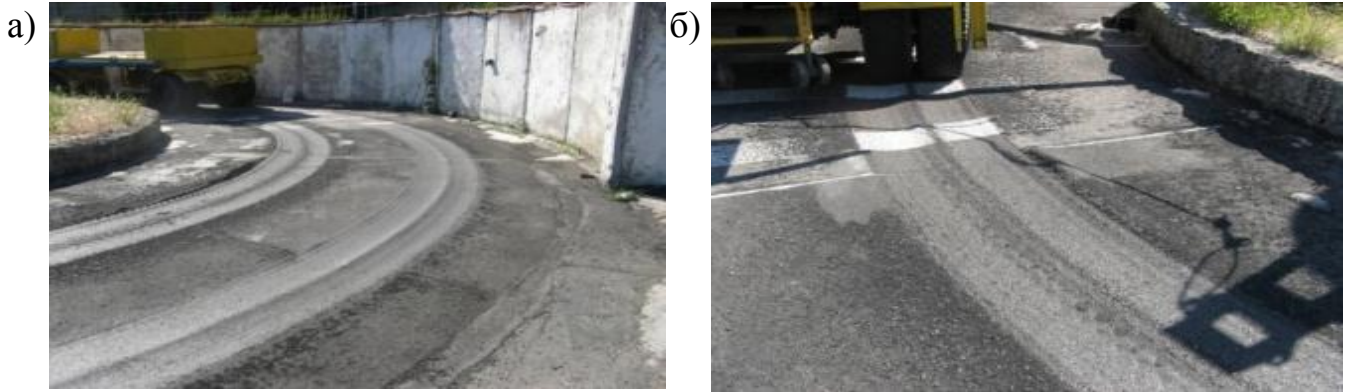


Рисунок 3.50 а, б – Вид покриття стенду після проходжень електромобіля: а) секція 1, після 5000 оборотів стенду; б) секція 3, після 5000 оборотів стенду

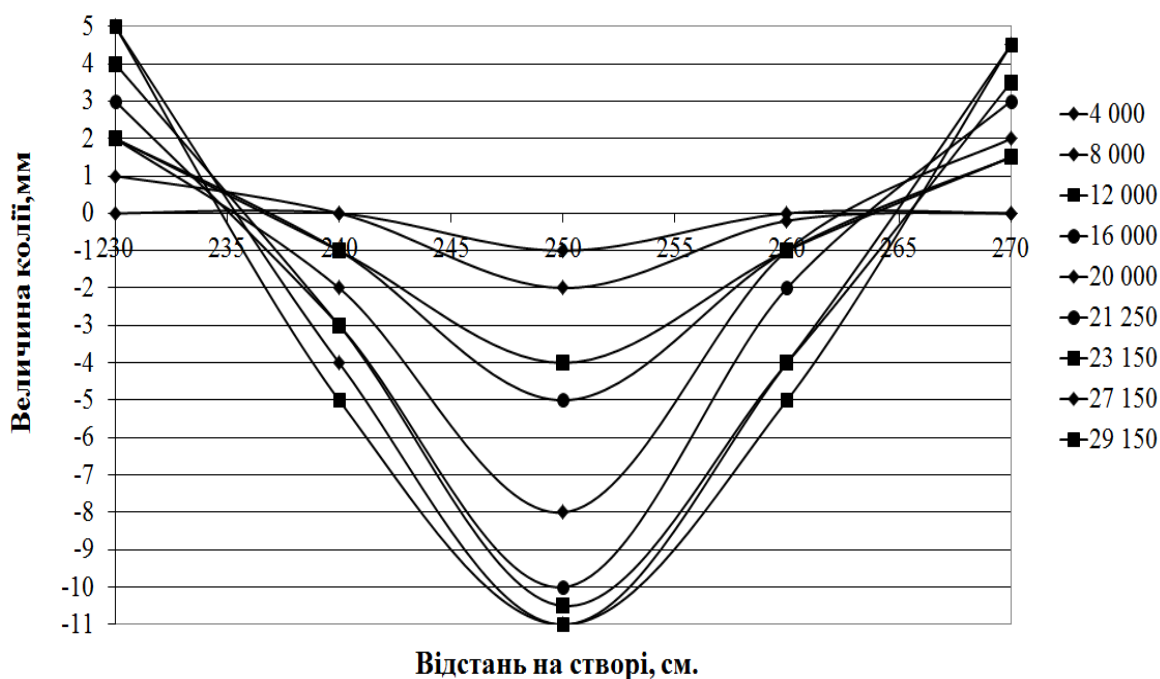
Результати вимірювань на створах (рис. 3.51), було оброблено і за цими даними побудовані графіки інтенсивності утворення колії, які наведені на рисунку 3.52 – 3.54.



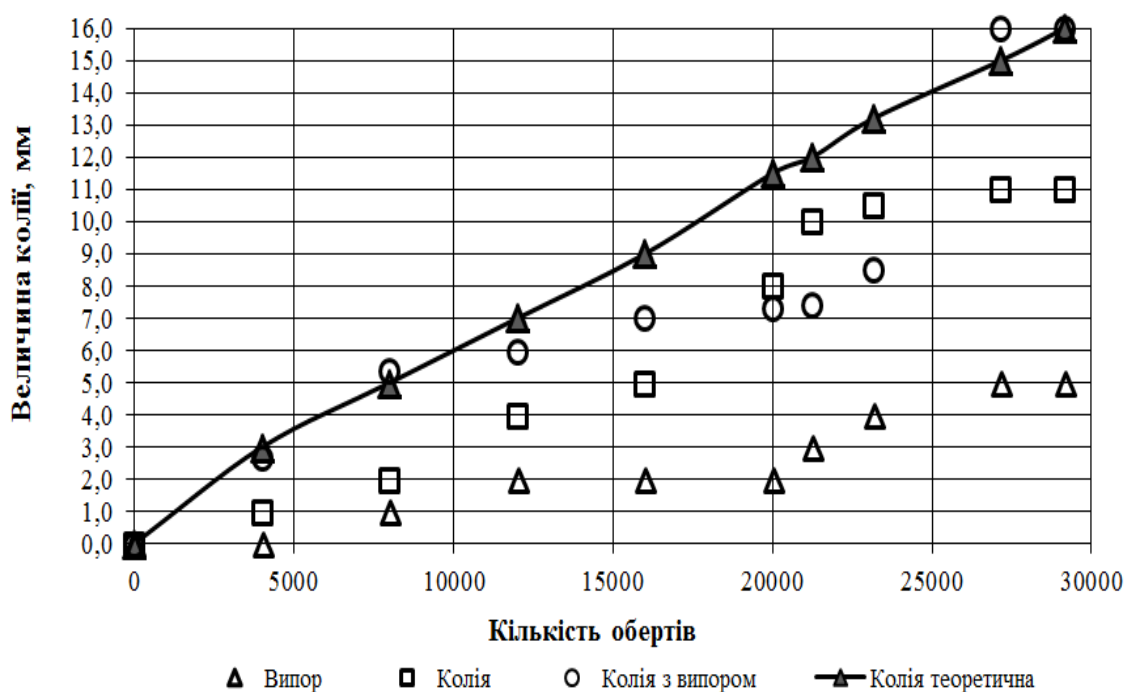
Рисунок 3.51 – Колія, що виникла в конструкції дорожнього одягу на підсекції 1(з неукріпленими шарами)



Рисунок 3.52 – Колія, що виникла в конструкції дорожнього одягу на підсекції 3(з укріпленими шарами)

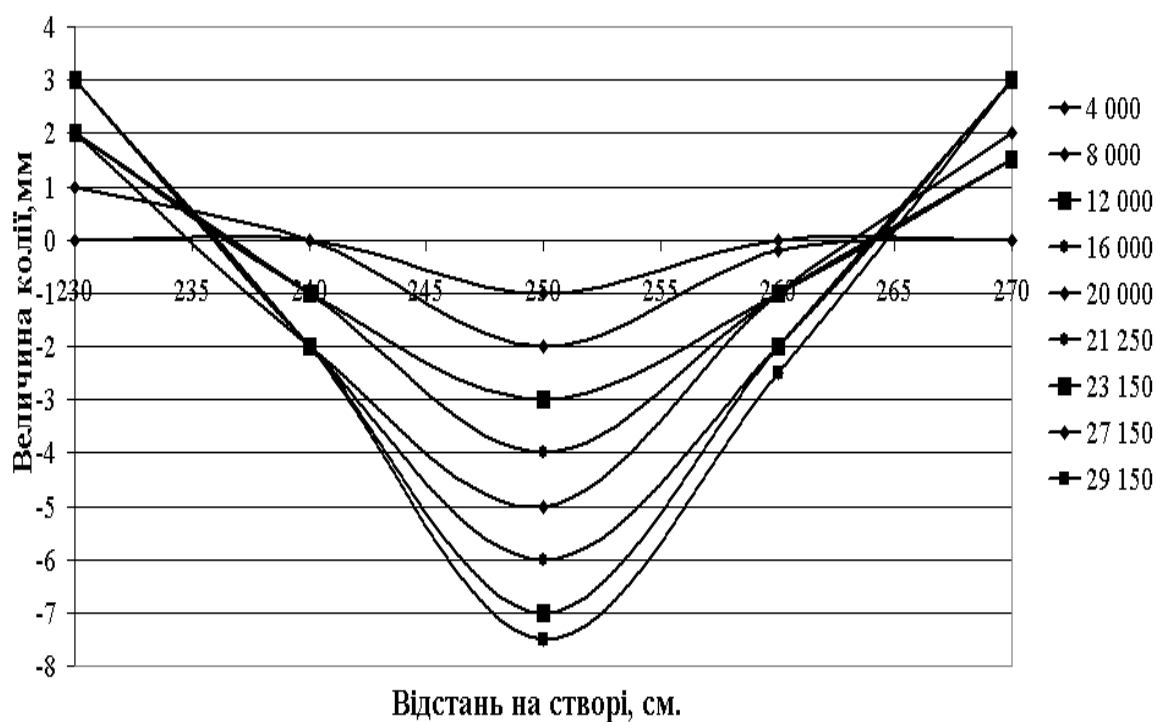


а) динаміка наростання колії на підсекції 1

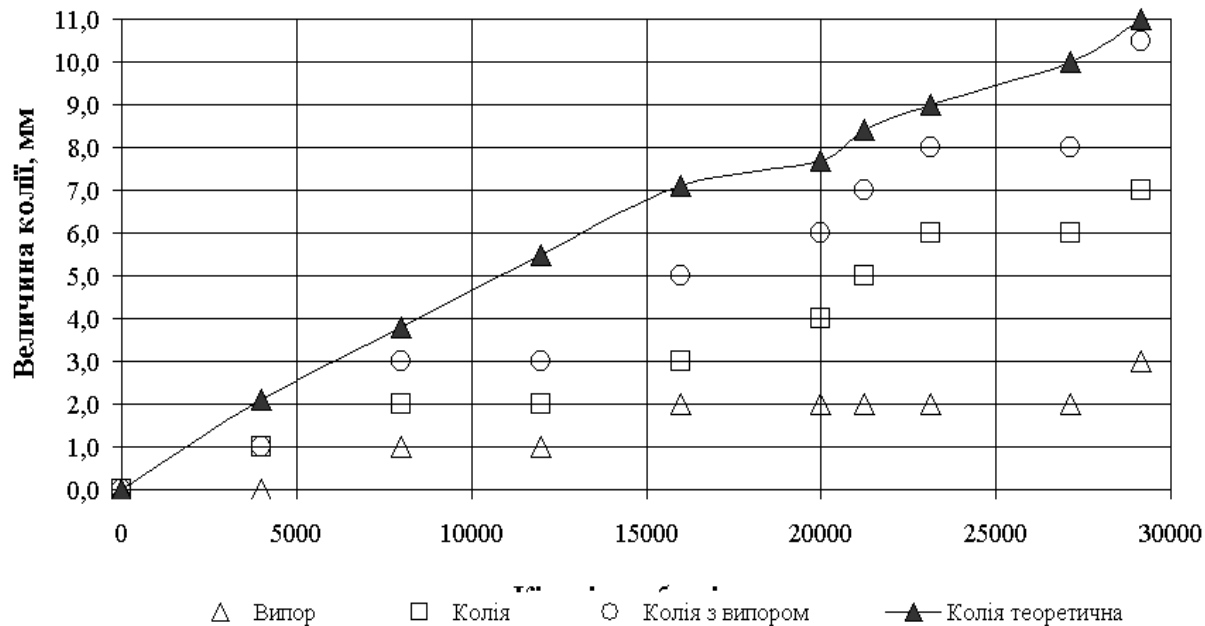


б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.53 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції 1

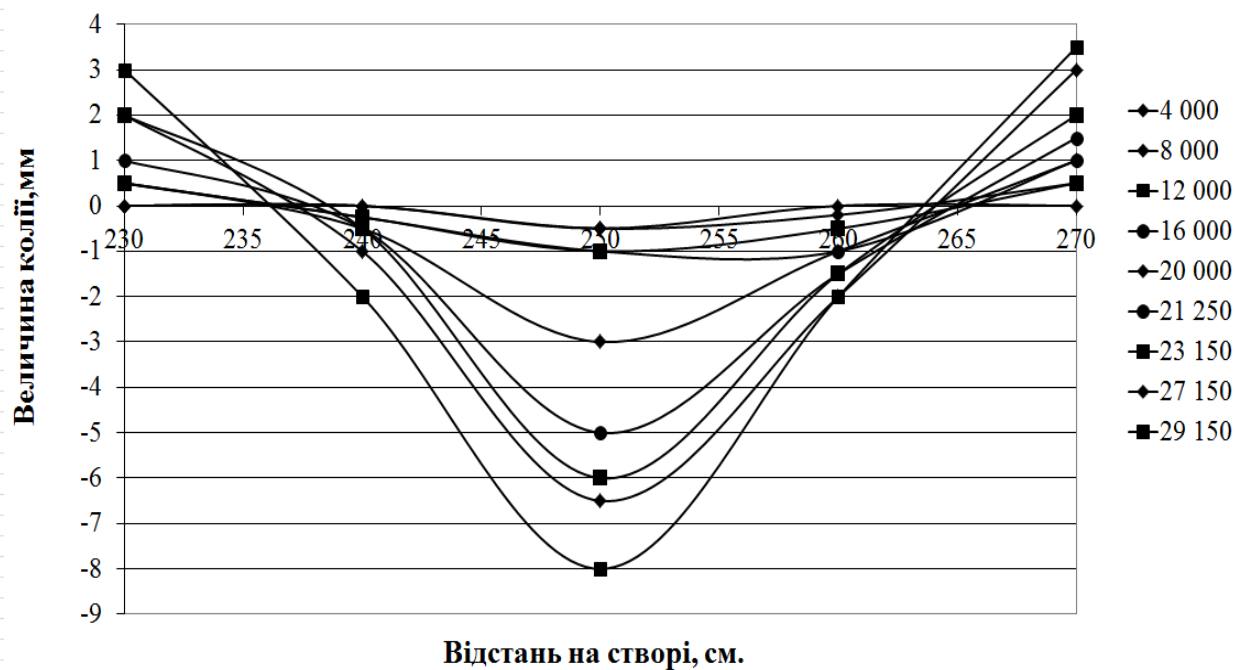


а) динаміка наростання колії на підсекції 1

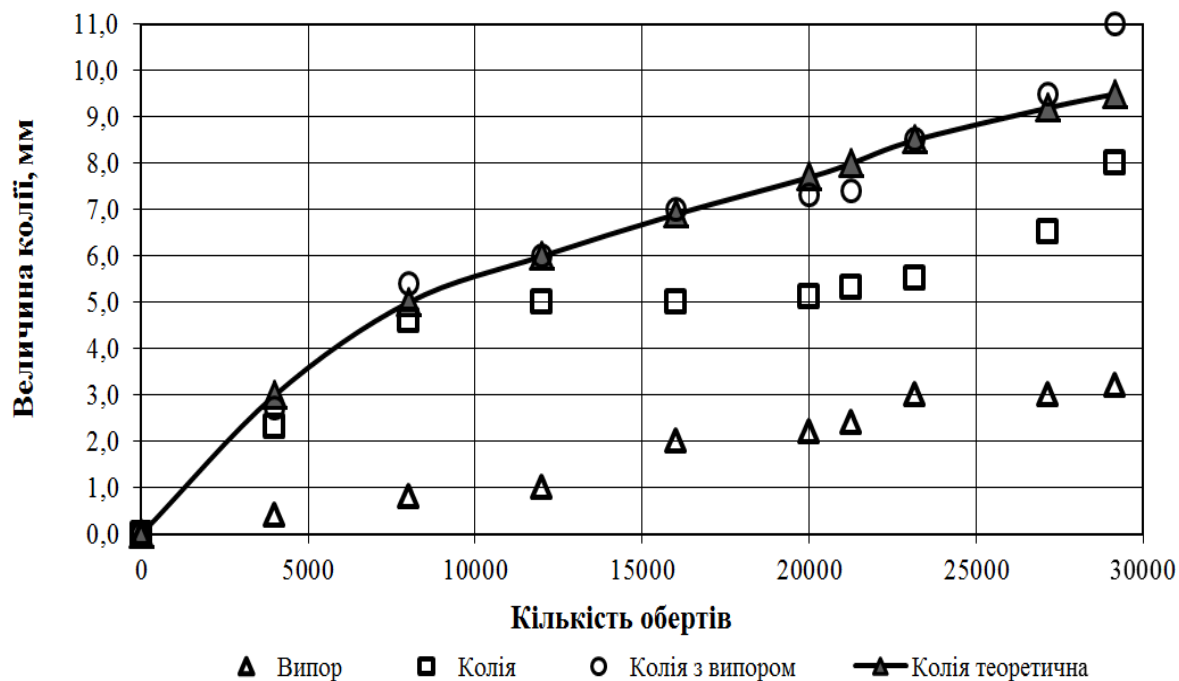


б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.54 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції 3



а) динаміка наростання колії на підсекції 3²¹



б) інтенсивність наростання колії від кількості проходів електромобілів

Рисунок 3.55 – Конструкція дорожнього одягу на підсекції 3²¹

Крім стійкості до накопичення залишкової деформації асфальтобетону на колійність покриття суттєво впливає міцність на зчеплення при зсуві між асфальтобетонними шарами. Тому для більш детального аналізу впливу міцності на зчеплення асфальтобетонних шарів, влаштованих на кільцевому стенді, були здійснені лабораторні випробування відібраних кернів з експериментальних секцій (Додаток Б).

Під час проведення стендових досліджень було розрито конструкцію дорожнього одягу з шарами із ресайклінгом, на секції 3 (рис. 3.56) та виміряно утворену колію пошарово (рис. 3.57, 3.58) для аналізу накопичення залишкових деформацій конструктивними шарами нежорсткого дорожнього одягу, згідно з методикою додаток Б. .



Рисунок 3.56 – Вид розритої конструкції, на секції 3

Під час дослідження було визначено пружній прогин та модулі пружності експериментальних конструкцій дорожнього одягу. Результати вимірювання пружного прогину та розрахунку модуля пружності експериментальних конструкцій дорожнього одягу наведено в табл. Б.14 – Б.18 Додатку Б.

Результати випробувань по вимірюванню пружного прогину свідчать, що внаслідок збільшення товщини асфальтобетонних шарів фактичний

модуль пружності експериментальних конструкцій, порівняно із проектними рішеннями, більший на 30 – 50 %.

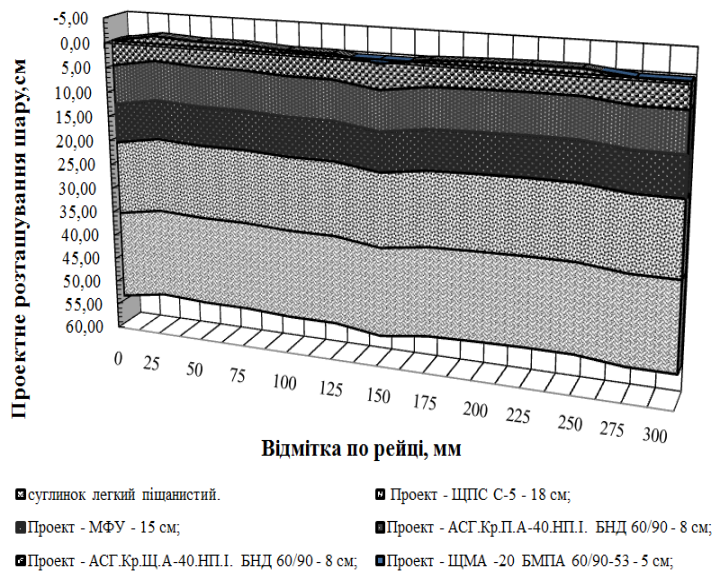


Рисунок 3.57 – Графік дослідження накопичення пластичних деформацій

Рисунок 3.58 – Фото фіксація виміру накопичення пластичних деформацій

За результатами експериментальних випробувань були встановлені фактичні модулі пружності асфальтобетону (рис. 3.59), застосованого для будівництва експериментальних конструкцій (таблиця 3.8).



Рисунок 3.59 – Визначення модулів пружності експериментальних конструкцій під жорстким штампом

Таблиця 3.8 – Розрахункові характеристики асфальтобетону, визначені експериментальним шляхом, застосовані для розрахунку конструкцій дорожнього одягу.

T, °C	ЩМА-20	ЩМПА-20	ЩМА-15	ЩМПА-15	Тип А-20	Тип Б-20(П)	Тип Б-20
0	5545	6437	5912	6841	6256	7992	7330
10	3174	3480	3427	3774	3624	4560	4014
25	1001	1284	1104	1488	1440	2124	1919
40	485	672	578	792	827	960	900

Для експериментальних конструкцій дорожнього одягу був проведений аналіз напружено-деформованого стану за результатами розрахунків переміщень за допомогою точного рішення А.К. Приварнікова [67, 166, 167, 183].

Важливою характеристикою для встановлення параметрів напружено-деформованого стану дорожнього одягу є температурний режим його роботи. Для встановлення температурного режиму виконувалося фактичне вимірювання температури шарів конструкції нежорсткого дорожнього одягу та самого покриття рис. 3.60, 3.61 [133].



Рисунок 3.60 – Встановлення температурного режиму покриття

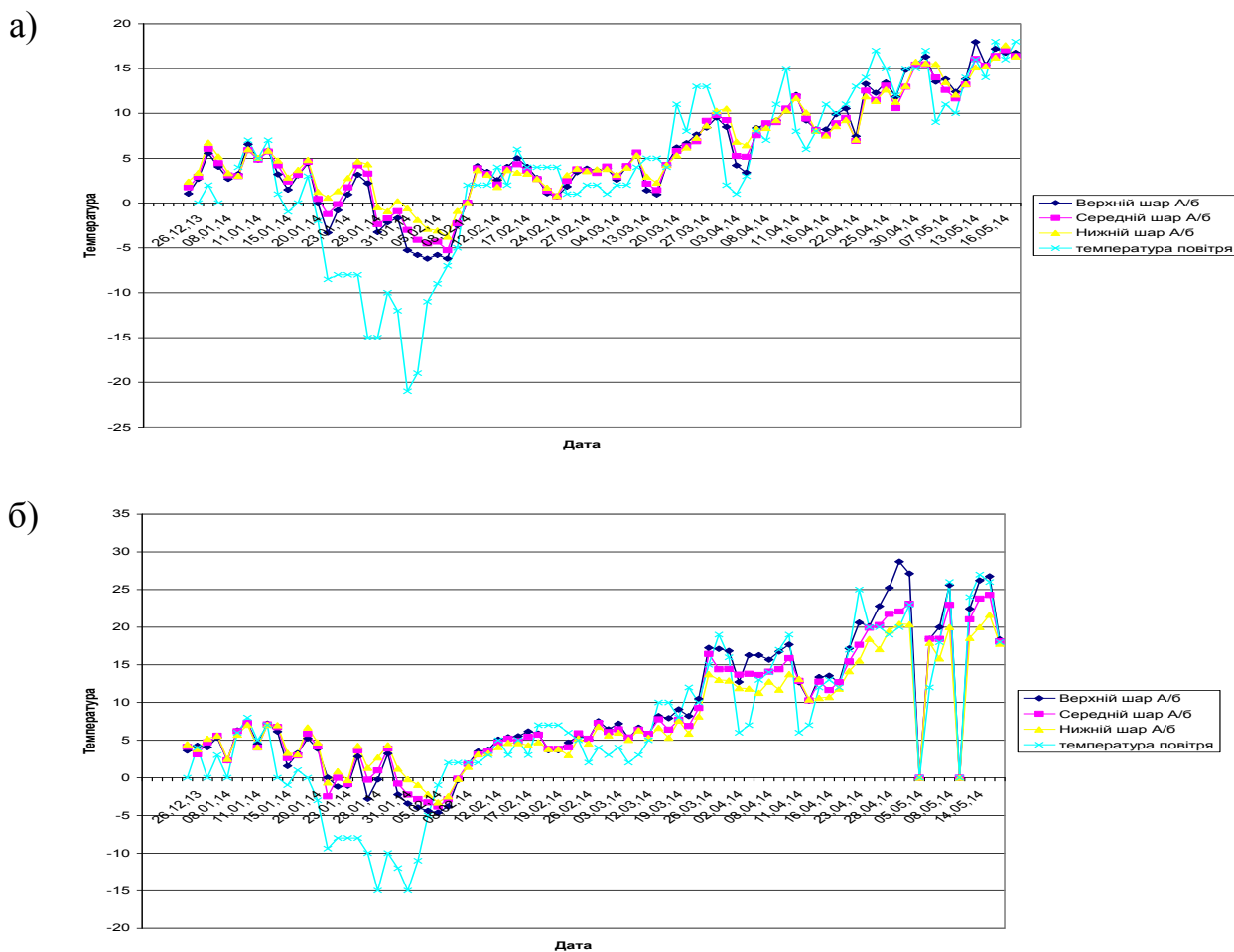


Рисунок 3.61 – Графік визначення температурного режиму покриття в залежності від температури повітря : а) о 9⁰⁰; б) о 16⁰⁰

Результати напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу застосовані для чисельного моделювання в програмі Ansys, для підтвердження отриманих результатів. Дані конструкції застосовані для перевірки адекватності теоретичних рішень за запропонованою методикою оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії. На рис. 3.62 – 3.67 представлені графічні залежності зміни по глибині вертикальних переміщень і горизонтальних переміщень. Ці дані отримані при температурах 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C. Результати аналізу свідчать про різну розподільчу здатність експериментальних конструкцій та різному рівні переміщень в монолітних шарах, які можуть призвести до утворення колії від дії транспортного навантаження. Різний

рівень переміщень впливає на довговічність експериментальних конструкцій з різними критеріями граничного стану.

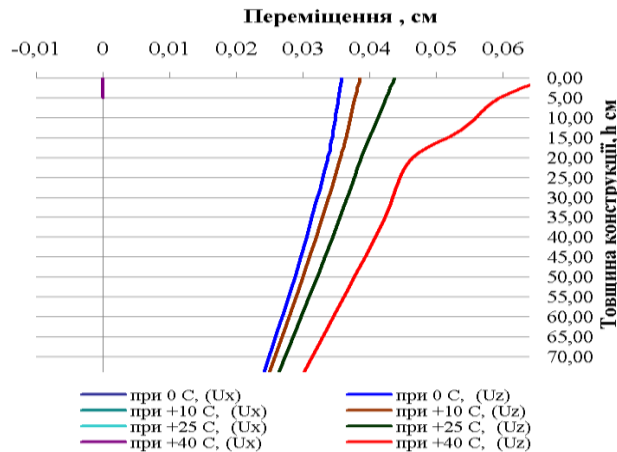


Рисунок 3.62 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 1 при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з розрахунковим модулем пружності

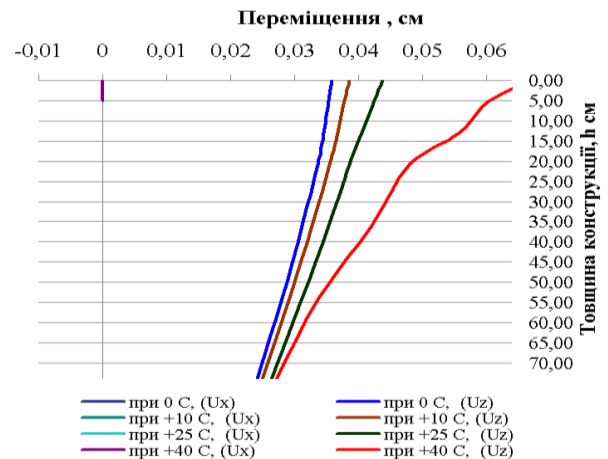


Рисунок 3.63 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 1 при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з вимірним модулем пружності

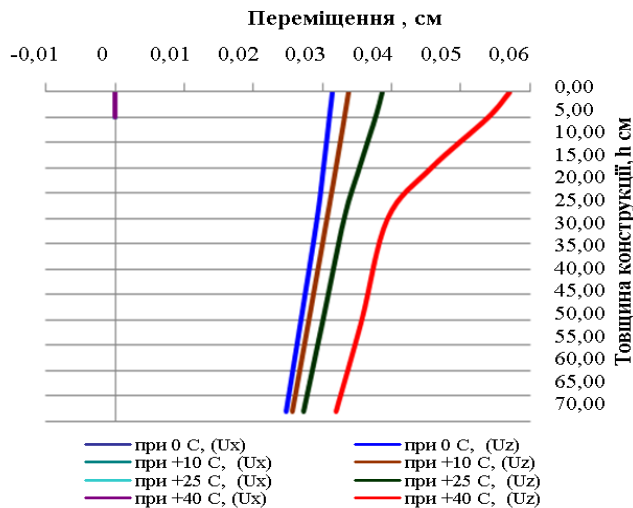


Рисунок 3.64 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 3 при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з розрахунковим модулем пружності

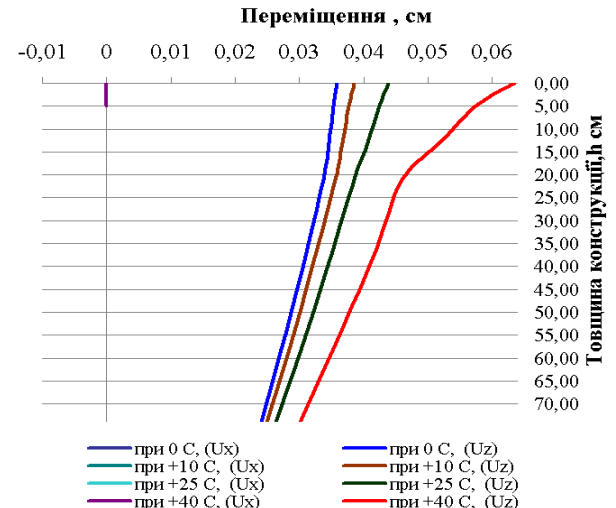


Рисунок 3.65 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 3 при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з вимірним модулем пружності

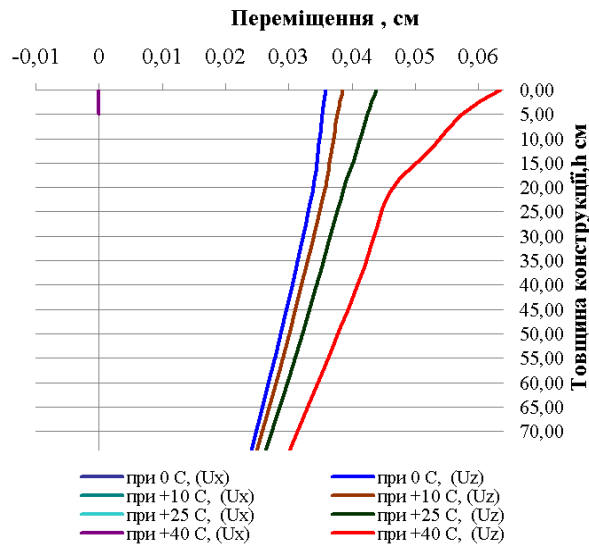


Рисунок 3.66 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 3²¹ при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з розрахунковим модулем пружності

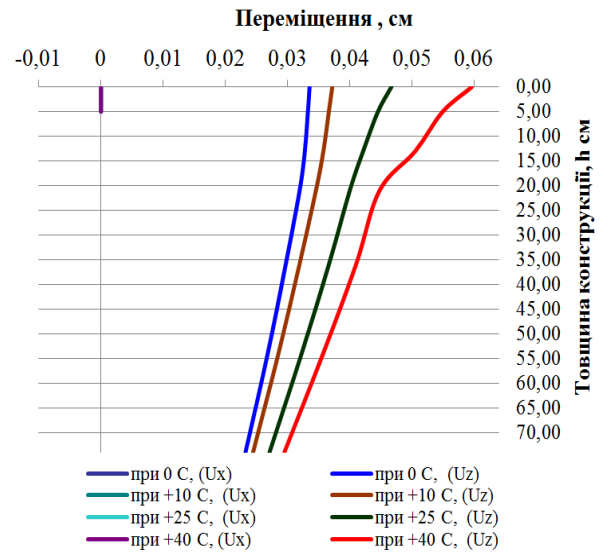


Рисунок 3.67 – Переміщення, що виникають в конструкції дорожнього одягу на підсекції 3²¹ при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C з вимірним модулем пружності

За результатами розрахунків переміщень за допомогою точного рішення А.К. Приварнікова, для перевірки адекватності теоретичних даних, можна зробити висновок, що максимальні переміщення, виникають в конструкції дорожнього одягу на секції 1 при температурі 0 °C; +10 °C; +25 °C і +40 °C, а найменше значення переміщень на секціях 3 та 3²¹, крім того значення переміщень на секціях 3 та 3²¹ практично наближені один до одного.

3.5 Числове моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу

Метою роботи є провести моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу під дією одиничного навантаження.

На покриття, від коліс транспортних засобів ($D=34,5$ см) діє одиничний тиск $P=0,8$ МПа. Тиск P рівномірно розподілений по п'ятну контакту. Відстань між колесами прийнята 1900 мм, а відстань до краю покриття 1000 мм. Числовий експеримент передбачає різні значення параметрів переміщення: повна заборона переміщень на бічній поверхні; дозволено про ковзання вздовж бічної поверхні; дозволено про ковзання вздовж внутрішніх бічних граней та переміщення точок зовнішньої бічної поверхні.

Товщини асфальтобетонного покриття та конструкції нежорсткого дорожнього одягу стала (для розрахунку обрано конструкції, що випробовувалися на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості»), при різних значеннях температури: $+10$ °C; $+40$ °C; $+50$ °C; $+60$ °C. На рисунку 3.68 запропоновано геометричні параметри заданої моделі.

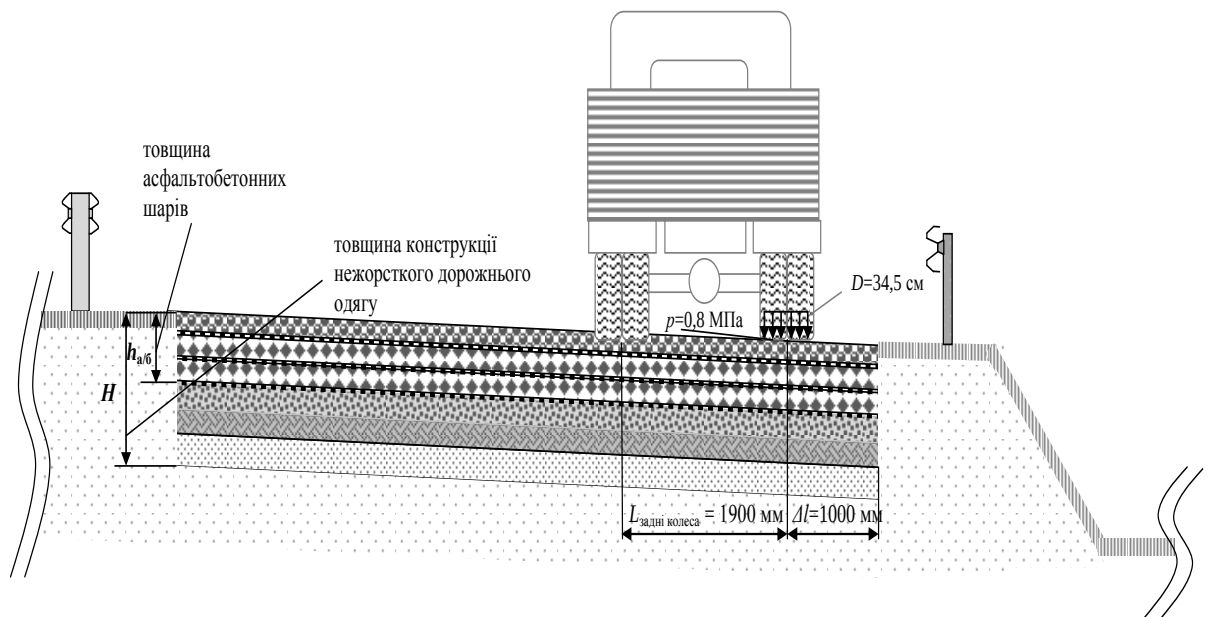


Рисунок 3.68 – Приклад дії навантаження від автомобільного транспорту на асфальтобетонне покриття

Розв'язання задачі для тривимірної підсистеми виконано в середовищі аналітично-розрахункового комплексу Ansys. Розрахункову схему дії зовнішніх навантажень на асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу, в даному випадку, приведено у розділі 2 (рис.2.1).

Рівні змінних факторів та інтервали їх варіювання вибрані на основі аналізу типів покриття, його властивостей, навантажень та п'ятна контакту від транспортних засобів.

З урахуванням залежностей (2.31) отримано моделі тривимірної підсистеми, що дозволять проаналізувати зміну стану покриття в характерних точках та в масиві в цілому при зміні значень вхідних параметрів. Це дасть змогу в кінцевому рахунку визначити раціональну комбінацію значень вхідних параметрів, які забезпечать мінімальні переміщення та оцінити стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії.

Для кожного числового експерименту визначалися максимальні переміщення в асфальтобетонному покритті U_x , U_y , U_z , (рис. 3.69), а також максимальні переміщення та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом.

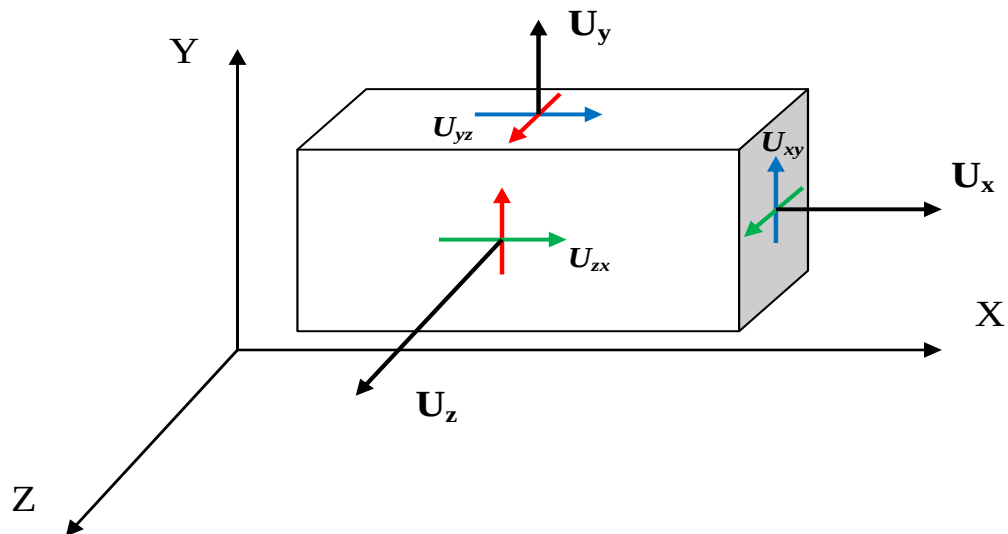


Рисунок 3.69 – Переміщення які виникають в елементах асфальтобетонного покриття

Для визначення переміщень в асфальтобетонному покритті, відповідно до розрахункової схеми (рис. 2.1) та вихідних даних наведених в (конструкція на секції 1 – №1 та конструкція 3¹² – №2) було виконано дослідження асфальтобетонного покриття методом скінченних елементів, за

методологією наведеною в залежностях, із застосуванням програмного комплексу Ansys.

Конструкції нежорсткого дорожнього одягу укріпленими шарами (для розрахунку обрано конструкції, що випробовувалися на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості»), при різних значеннях модулів пружності при температурах: +10 °С; +40°С; +50°С; +60°С наведено в таблиці 3.9, 3.10.

Таблиця 3.9 – Товщини шарів конструкції № 1 та їх механічні властивості в залежності від температури

Шар №	Назва	Товщина, h, см	Модуль пружності / Коеф. Пуасона			
			+10	+40	+50	+60
1	Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий тип Б, марки І на бітумі модифікованому полімером БМПА 60/90-53	5	4500 / 0,3	690 / 0,35	380 / 0,41	360 / 0,43
2	Асфальтобетон щільний, крупнозернистий тип Б, марки І на бітумі БНД 60/90	10	3200 / 0,3	550 / 0,35	350 / 0,41	320 / 0,43
3	Асфальтобетон пористий, крупнозернистий, марки І	10	2000 / 0,3	460 / 0,35	410 / 0,41	340 / 0,43
4	Щебінь фр. 20-40 мм	20	350 / 0,27	350 / 0,27	350 / 0,27	350 / 0,27
5	Пісок	20	100 / 0,3	100 / 0,3	100 / 0,3	100 / 0,3
6	Ґрунт земляного полотна – суглинок пілуватий	235	77 / 0,35	77 / 0,35	77 / 0,35	77 / 0,35

Таблиця 3.10 – Товщини шарів конструкції № 2 та їх механічні властивості в залежності від температури

Шар №	Назва	Товщина, h, см	Модуль пружності / Коеф. Пуасона			
			+10	+40	+50	+60
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 на бітумі модифікованому полімером БМП 60/90-52	5	3500 / 0,3	600 / 0,35	360 / 0,41	330 / 0,43
2	Асфальтобетон щільний, крупнозернистий (максимальна крупність мінеральних зерен до 20 мм), тип А, марки І на бітумі БНД 60/90	8	3200 / 0,3	550 / 0,35	350 / 0,41	320 / 0,43
3	Асфальтобетон пористий, дрібнозернистий (максимальна крупність мінеральних зерен до 40 мм) марки І	8	2000 / 0,3	460 / 0,35	410 / 0,41	340 / 0,43
4	Щебенево-піщана суміш С7, укріплена цементом марки М 60	15	800 / 0,28	800 / 0,28	800 / 0,28	800 / 0,28
5	Щебенево-піщана суміш С5	18	260 / 0,3	260 / 0,3	260 / 0,3	260 / 0,3
6	Пісок	20	100 / 0,3	100 / 0,3	100 / 0,3	100 / 0,3
7	Ґрунт земляного полотна – суглинок	226	77 / 0,35	77 / 0,35	77 / 0,35	77 / 0,35

Вісесиметрична постановка

Припущення про симетричність навантаження та граничних умов дозволяє розглянути цю задачу в вісесиметричній постанові. Для цього із конструкції виділяється круговий циліндр діаметром 3 м, в центрі верхньої грані якого діє тиск 1 МПа розподілений в середині кола радіусом 16 см (рис. 3.70 – 3.72). Така постановка дозволяє спростити моделювання та зменшити кількість скінчених елементів.

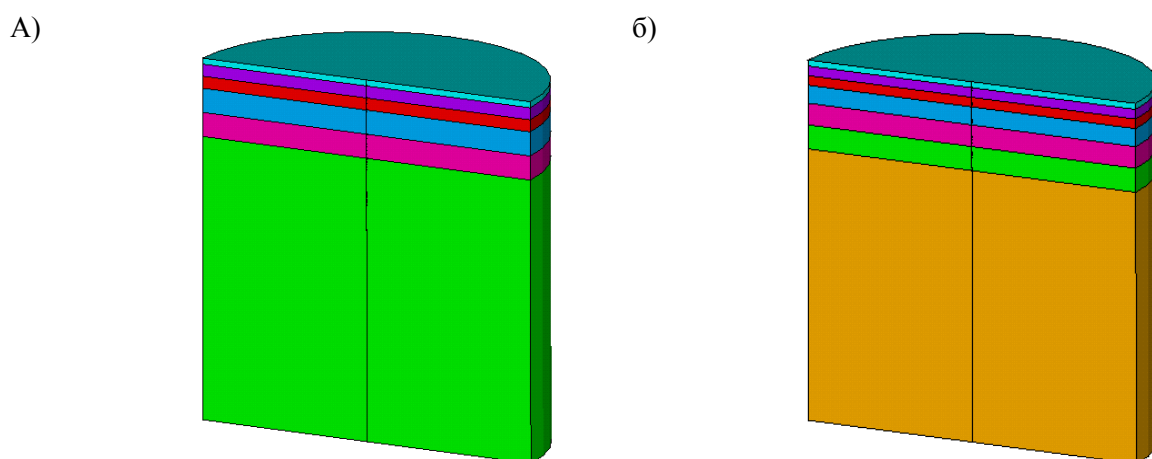


Рисунок 3.70 – Схема половини моделі (а – конструкція №1, б – конструкція №2)

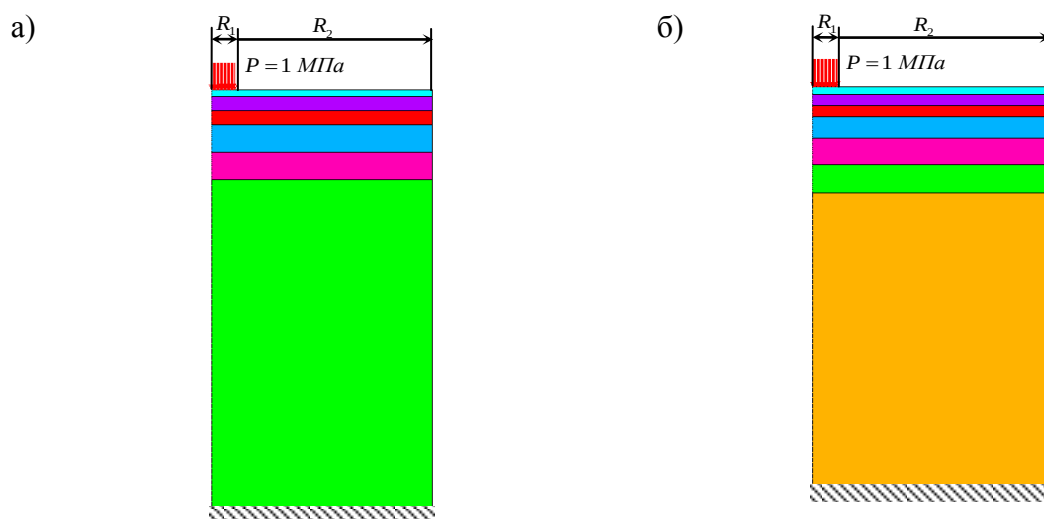


Рисунок 3.71 – Поперечні перетини тіл обертання що відповідають моделям (а – конструкція №1, б – конструкція №2) при вісесиметричному розгляді

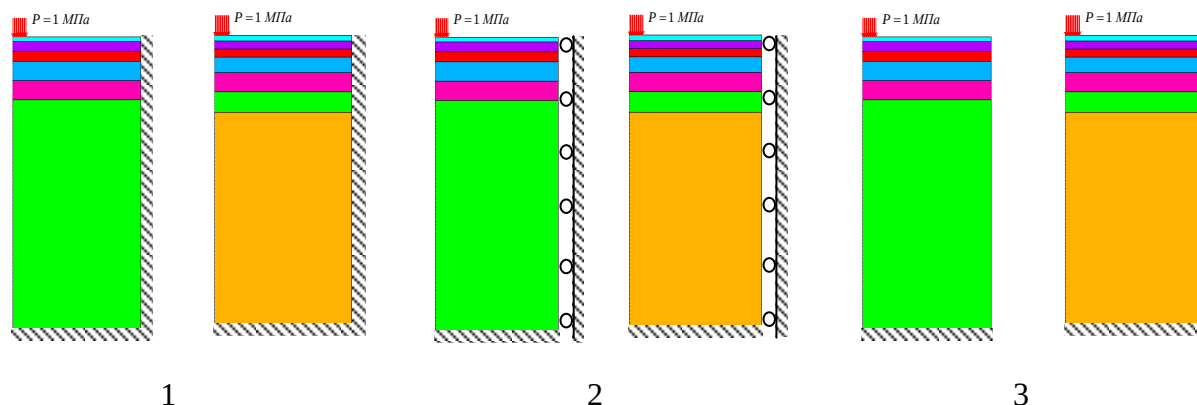


Рисунок 3.72 – Варіанти граничних умов

Результати максимальних переміщення під штампом для приведених конструкцій в залежності від температури та граничних умов при вісесиметричному розгляді задачі наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №1 в залежності від температури та граничних умов при осесиметричному розгляді задачі, мм.

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3674	0,8066	0,9369	0,9778
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,511	0,9184	1,044	1,084
3) Дозволено переміщення точок бічної поверхні	0,6992	1,103	1,226	1,265

Таблиця 3.12 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №2 в залежності від температури та граничних умов при осесиметричному розгляді задачі, мм.

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3472	0,7017	0,7936	0,8265
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,4938	0,8213	0,9091	0,9409
3) Дозволено переміщення точок бічної поверхні	0,6739	1,001	1,087	1,118

Тривимірна постановка. Симетричні навантаження та граничні умови

Припущення про симетричність навантаження та граничних умов дозволяє розглянути цю задачу в тривимірній постанові. Для цього із конструкції виділяється призма, в центрі верхньої грані якого діє тиск 1 МПа розподілений в середині кола радіусом 16 см. Для розглядання такої моделі скористаємося чвертю моделі (рис. 3.73).

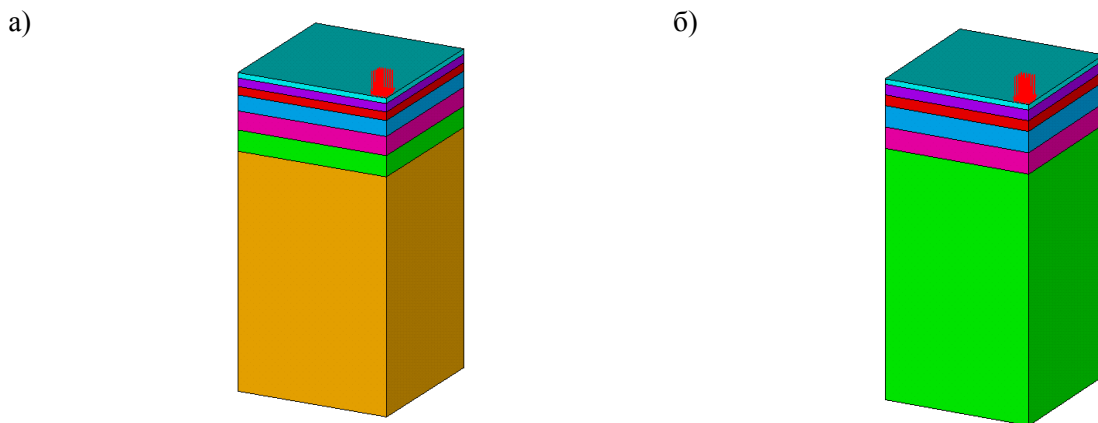
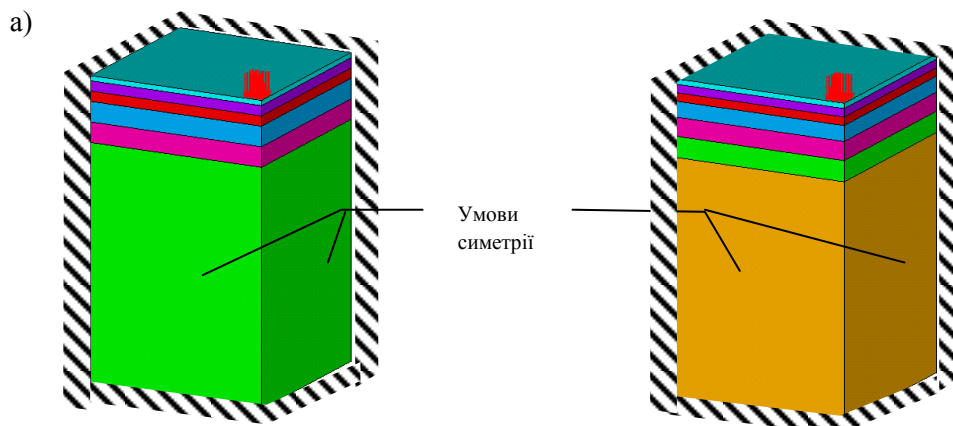
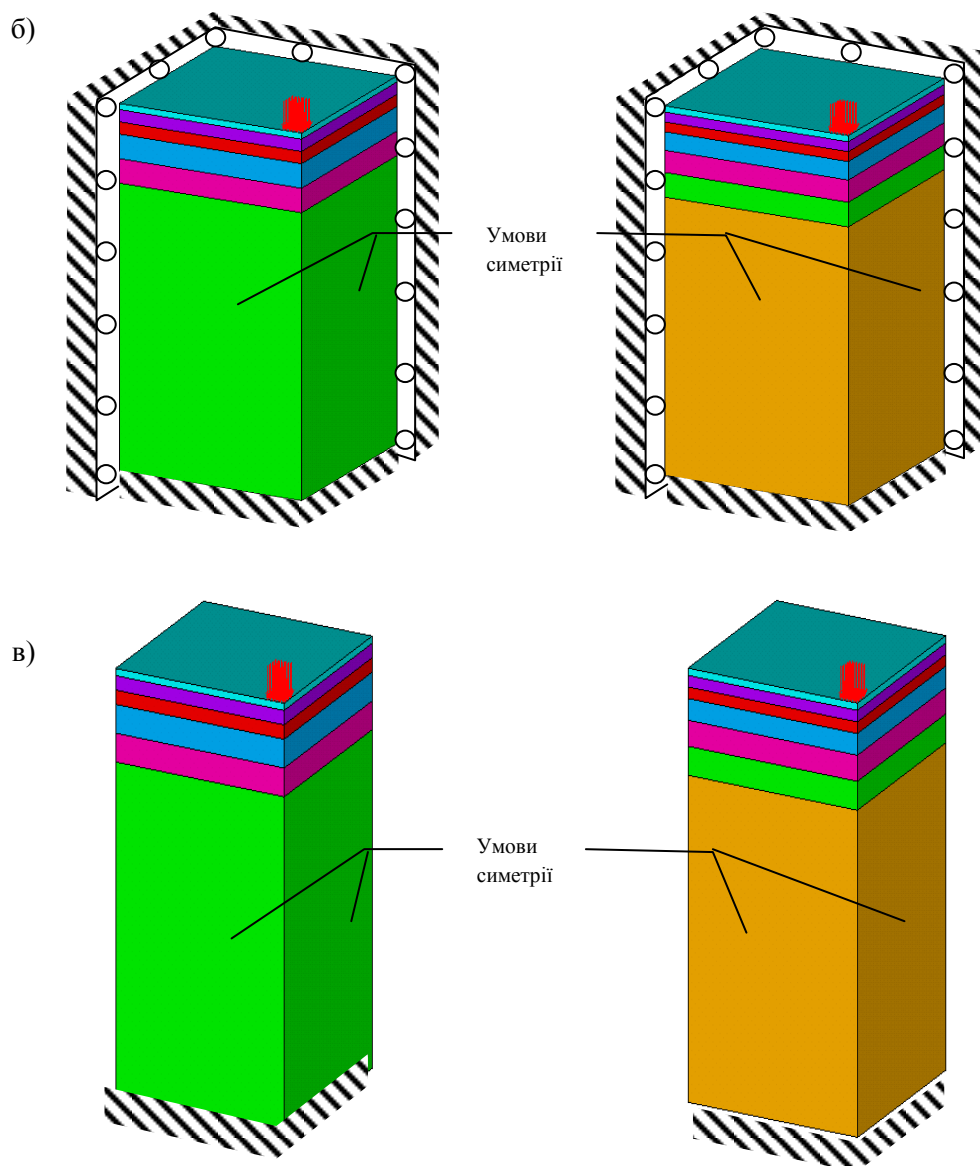


Рисунок 3.73 – Схема чверті моделі (а – конструкція №1, б - конструкція №2)

Для даної моделі розглянемо варіанти граничних умов: повна заборона переміщень на бічній поверхні; дозволено проковзування вздовж бічної поверхні; дозволено переміщення точок зовнішньої бічної поверхні.





а) повна заборона переміщень на бічній поверхні; б) дозволено проковзування вздовж бічної поверхні; в) дозволено переміщення точок зовнішньої бічної поверхні.

Рисунок 3.74 – Варіанти граничних умов

Результати максимальних переміщення під штампом для приведених конструкцій в залежності від температури та граничних умов при тривимірній постановці задачі наведено в таблиці 3.13, 3.14.

Таблиця 3.13 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №1 в залежності від температури та граничних умов, мм. Тривимірна постановка. Симетричні навантаження та граничні умови

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3798	0,8145	0,9433	0,9831
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,4860	0,8942	1,0190	1,0580
3) Дозволено переміщення точок зовнішньої бічної поверхні	0,6427	1,0440	1,1660	1,2050

Таблиця 3.14 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №2 в залежності від температури та граничних умов, мм. Тривимірна постановка. Симетричні навантаження та граничні умови

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3589	0,7108	0,8022	0,8342
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,4674	0,7969	0,8848	0,9160
3) Дозволено переміщення точок зовнішньої бічної поверхні	0,6184	0,9445	1,0310	1,0610

Тривимірна постановка. Несиметричні навантаження та граничні умови

Припущення про несиметричність навантаження та граничних умов дозволяє розглянути цю задачу в тривимірній постанові. Для цього із конструкції виділяється призма, на грань якого діє тиск 1 МПа розподілений в середині кола радіусом 16 см (рис. 3.75).

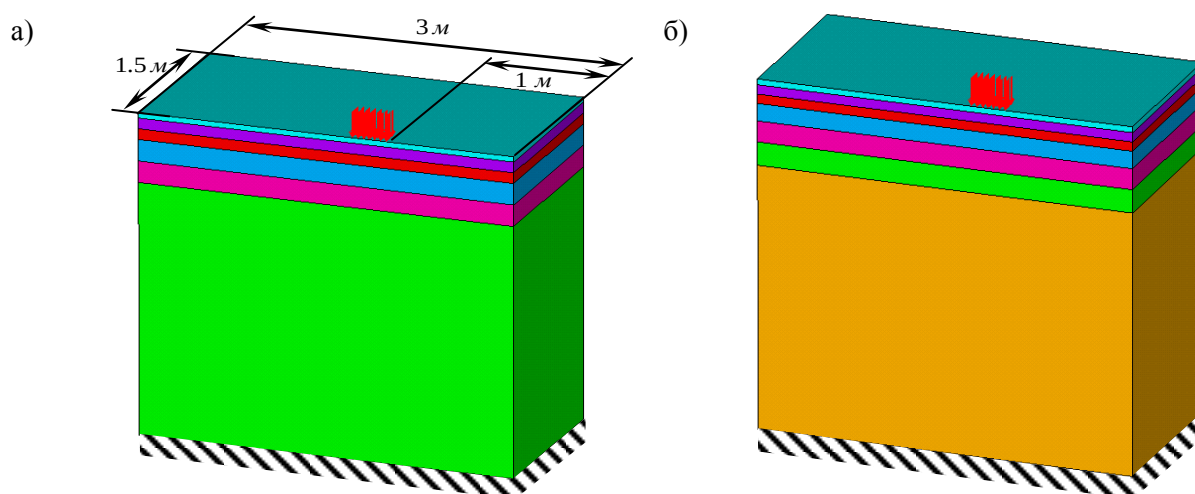
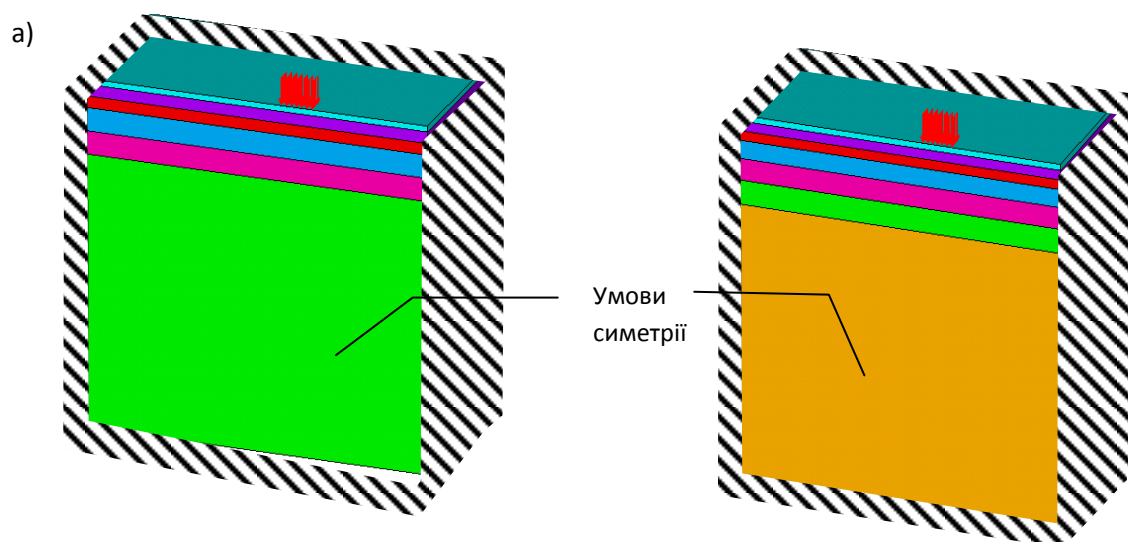
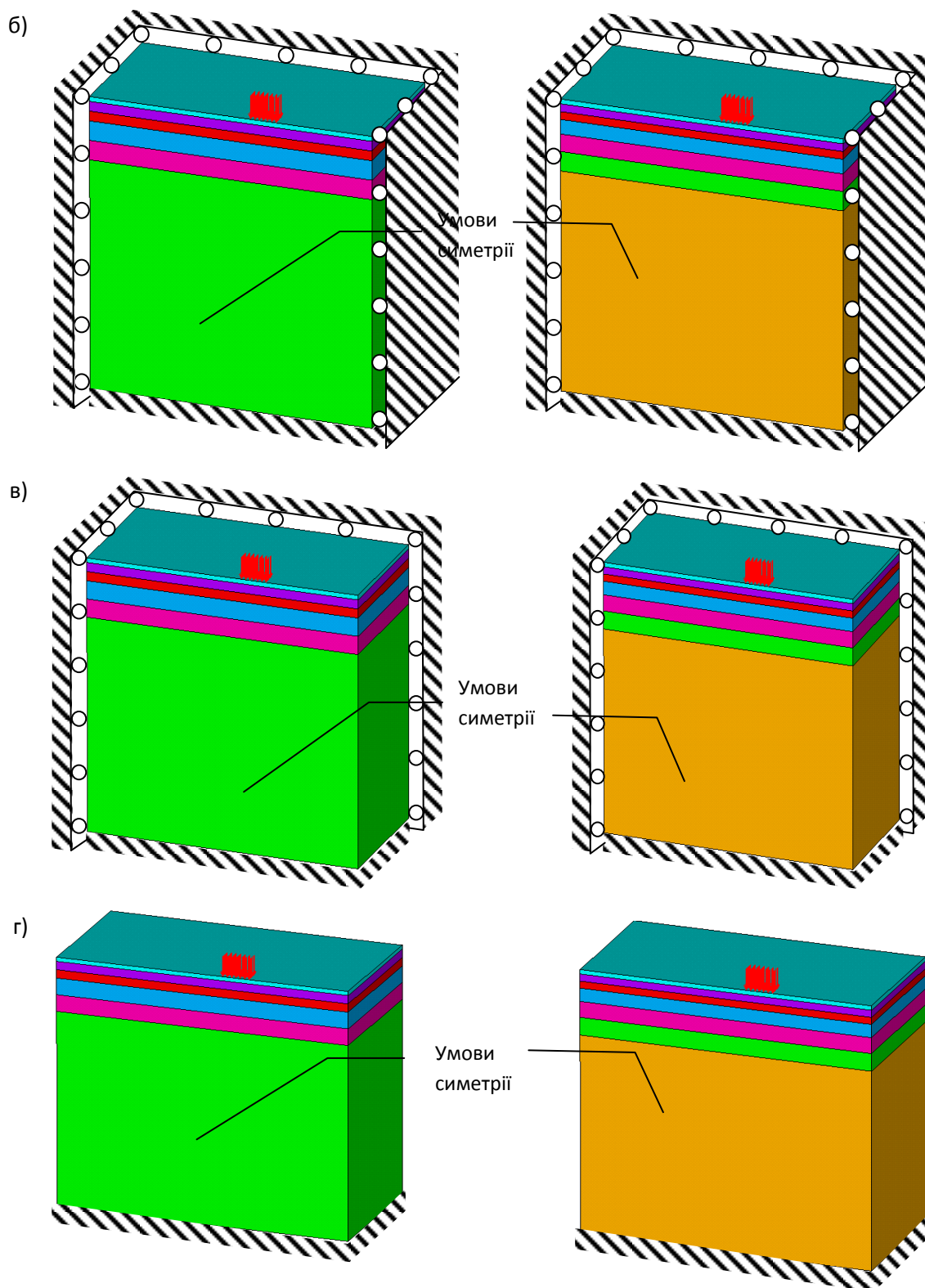


Рисунок 3.75 – Схема половини моделі (а – конструкція №1, б – конструкція №2)

Для даної моделі розглянемо варіанти граничних умов: повна заборона переміщень на бічній поверхні; дозволено проковзування вздовж бічної поверхні; дозволено проковзування вздовж внутрішньої бічної поверхні і переміщення точок зовнішньої бічної поверхні; на бічній поверхні немає обмежень (рис. 3.76).





а) повна заборона переміщень на бічній поверхні; б) дозволено проковзування вздовж бічної поверхні; в) дозволено проковзування вздовж внутрішньої бічної поверхні і переміщення точок зовнішньої бічної поверхні; г) на бічній поверхні немає обмежень

Рисунок 3.76 – Варіанти граничних умов (в усіх варіантах нижня грань жорстко защемлена)

Результати максимальних переміщення під штампом для приведених конструкцій в залежності від температури та граничних умов при несиметричному навантаженні задачі наведено в табл. 3.13, 3.14.

Вертикальну залишкову деформацію стискання ε_p знаходять за емпіричною формулою (1), отриманої в лабораторії при випробуваннях асфальтобетонів, в залежності від температури T і число попередніх навантажень N . При цьому випробуванні проводили повторні навантаження без бокового обмеження, а після, уточнювали коефіцієнти за польовими даними:

$$h_{a/o}(t, T(t)) = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = \beta_{r1} \cdot a_1 \cdot T \cdot a_2 \cdot \beta_{r2} \cdot N \cdot a_2 \cdot \beta_{r3} \quad (3.3)$$

де ε_p – накопичена залишкова вертикальна деформація від N навантажень при температурі $T(F)$;

ε_r – вертикальна деформація в даній точці, вирахована по теорії пружності і залежна від параметрів осей пошарової системи.

Таблиця 3.15 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №1 в залежності від температури та граничних умов, мм. Тривимірна постановка. Несиметричні навантаження та граничні умови

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3609	0,7928	0,9214	0,9608
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,4981	0,9012	1,0250	1,0630
3) Дозволено проковзування вздовж внутрішньої бічної поверхні і переміщення точок зовнішньої бічної поверхні	0,5480	0,9610	1,0880	1,1270
4) На бічній поверхні немає обмежень	0,6758	1,0700	1,1920	1,2290

Таблиця 3.16 – Максимальні переміщення під штампом для конструкції №2 в залежності від температури та граничних умов, мм. Тривимірна постановка. Несиметричні навантаження та граничні умови

Варіант граничних умов	Температура, °C			
	+10	+40	+50	+60
1) Повна заборона переміщень на бічній поверхні	0,3425	0,6908	0,7822	0,8139
2) Дозволено проковзування вздовж бічної поверхні	0,4798	0,8058	0,8935	0,9241
3) Дозволено проковзування вздовж внутрішньої бічної поверхні і переміщення точок зовнішньої бічної поверхні	0,5264	0,8606	0,9500	0,9810
4) На бічній поверхні немає обмежень	0,6514	0,9716	1,0570	1,0870

В результаті лабораторного дослідження повторними навантаженнями асфальтобетону отримуємо вираз виду (2):

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = 10^{-3,1555} \cdot \left(\frac{9}{5} \cdot T_c + 32 \right)^{1,734} \cdot N^{0,3994} \quad (3.4)$$

Приклад розрахунку накопичення залишкових деформацій асфальтобетонного покриття від кількості проходів автомобіля наведено на рис. 3.77, 3.78.

Коректне завдання граничних умов для моделей таких конструкцій є непростю задачею. Верхньою межею деформацій реальної конструкції може слугувати деформація моделі з вільною від обмежень бічною поверхнею, а нижньою межею – деформація моделі з жорстко защемленою бічною поверхнею. Як показали розрахунки, різниця між ними в деяких випадках може досягати 50 %, тому для оцінки деформації конструкції приймається деформація моделі з «проміжним станом» граничних умов.

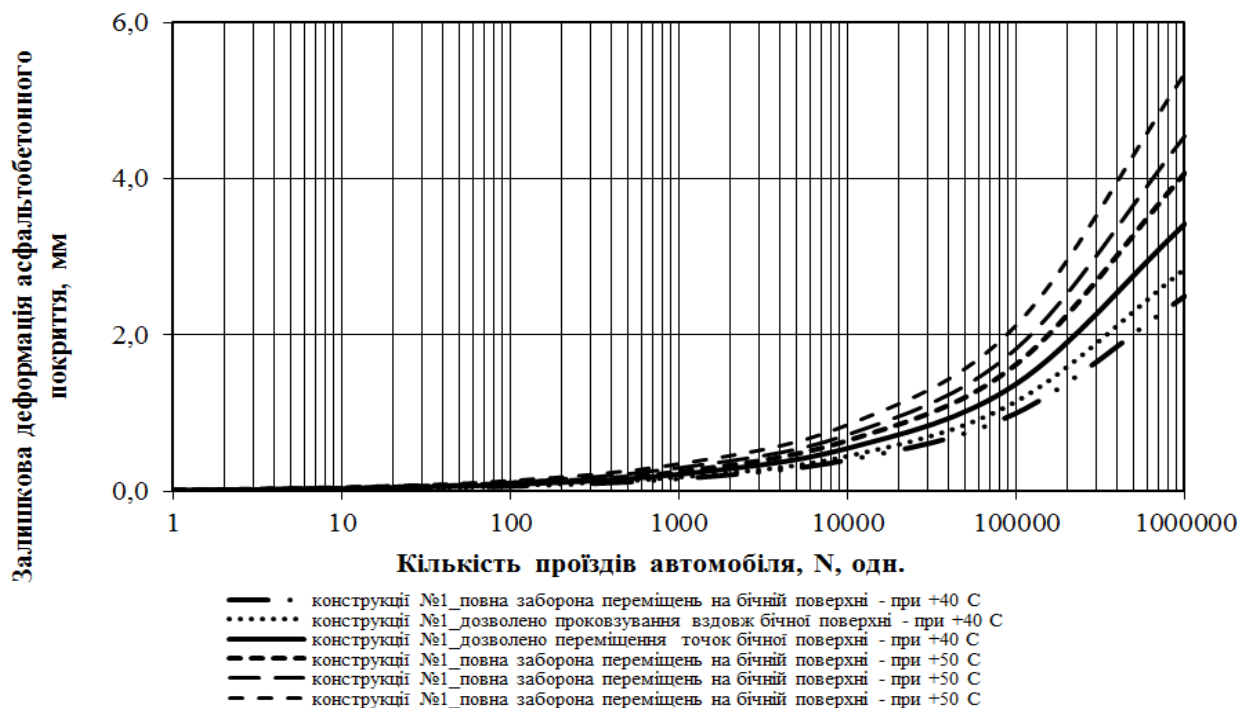


Рисунок 3.77 – Накопичення залишкових деформацій для конструкції №1 при середній температурі покриття +40°C та +50°C за граничних умов при осесиметричному розгляді задачі

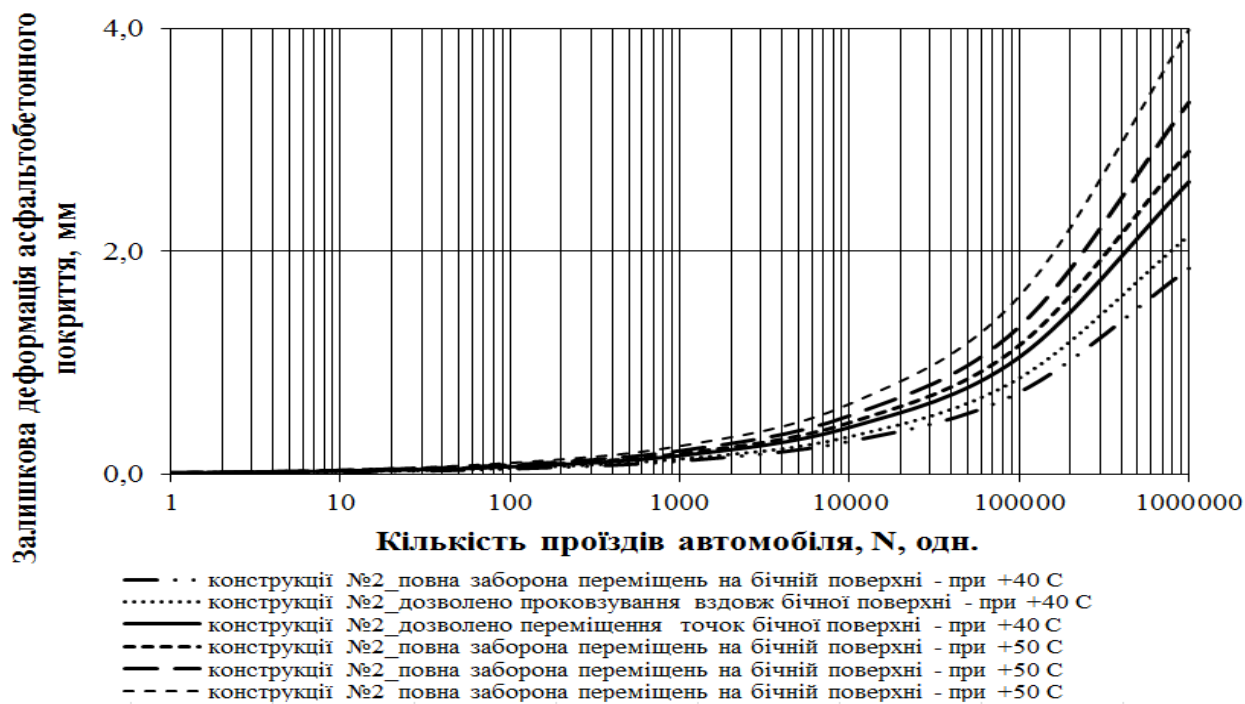


Рисунок 3.78 – Накопичення залишкових деформацій для конструкції №2 при середній температурі покриття +40°C та +50°C за граничних умов при осесиметричному розгляді задачі

При осесиметричній постановці чисельної збіжності деформацій вдалося досягти при згущенні сітки до 16080 елементів, тоді як для досягнення чисельної збіжності з відносною похибкою 1% в тривимірній постановці знадобилося 1006000 елементів, а подальше згущення сітки наштотувалося на значні складнощі при обчисленні.

Аналіз результатів показав, що для оцінки пружних деформацій достатньо осесиметричної постановки, тоді як при розрахунку на міцність необхідно використовувати тривимірну постановку та граничні умови максимально наближені до реальних, оскільки граничні умови та положення навантаження суттєво впливають на перерозподіл зон напружень, і не так суттєво на величину деформацій.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що максимальні переміщення, а отже і колійність асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу виникає в конструкції №1 в якій не були застосовані укріплені шари. Результати дослідження свідчать, що колія в асфальтобетонних шарах в конструкції з укріпленими матеріалами до 56 % менша в порівнянні з аналогічною, але без застосування укріплених матеріалів. В залежності від умов граничного стану колійність конструкції дорожнього одягу зростає до 28%.

3.6 Перевірка адекватності теоретичних рішень

Вирішення задачі із забезпечення та оцінкою стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії та прогнозування утворення колії в часі, може бути досягнуто при перевірці теоретичних рішень результатами експериментальних досліджень. Надійне застосування отриманих теоретичних рішень можливе лише у випадку однакових результатів, що отримані як за аналітичними рішеннями так і експериментальним шляхом.

З метою оцінки достовірності теоретичних рішень розглядаємо досліджувані конструкції дорожнього одягу з укріпленими та неукріпленими шарами, характеристика застосованих конструкцій наведено в табл. 3.5. Дані конструкції відповідають розрахунковій схемі (рис. 2.1) розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття.

На першому етапі перевірки розглянемо вплив температури асфальтобетонного покриття в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії, відповідно до методики додатку В (рис. 3.79).

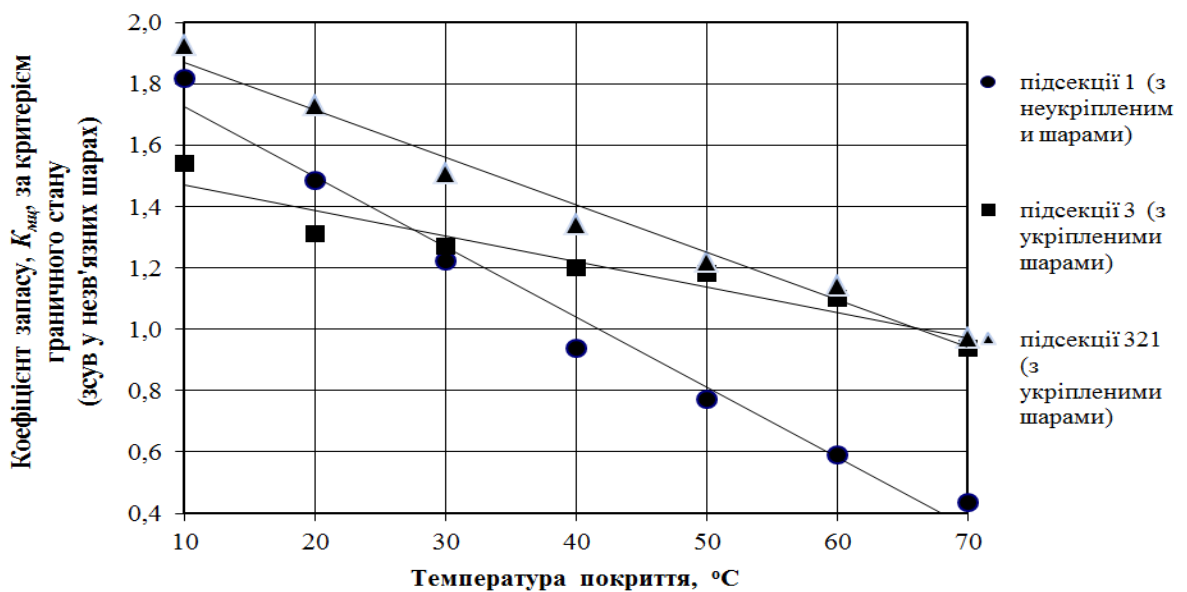


Рисунок 3.79 – Залежність впливу температури асфальтобетонного покриття на запас міцності за критеріями граничного стану

На другому етапі перевірки порівнюємо теоретичні існуючі методики оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії від різного терміну експлуатації дорожнього одягу, результати яких наведено на рисунку 3.80 – 3.82.

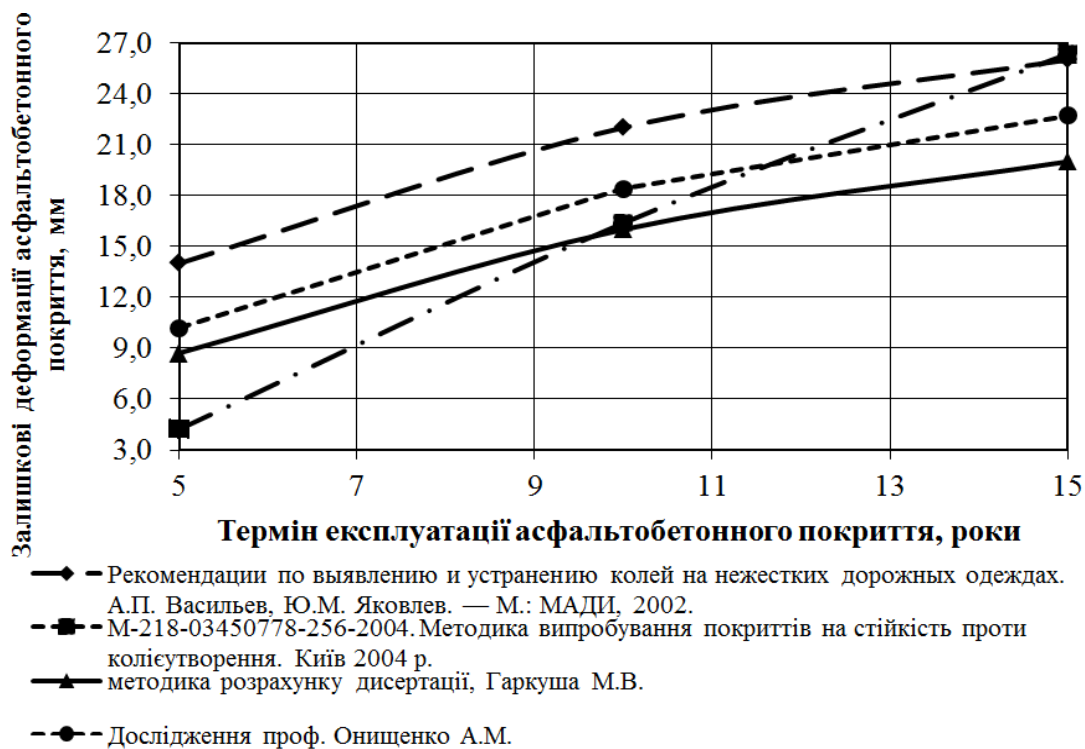


Рисунок 3.80 – Результати розрахунку експериментальної конструкції 1 дорожнього одягу на колійність

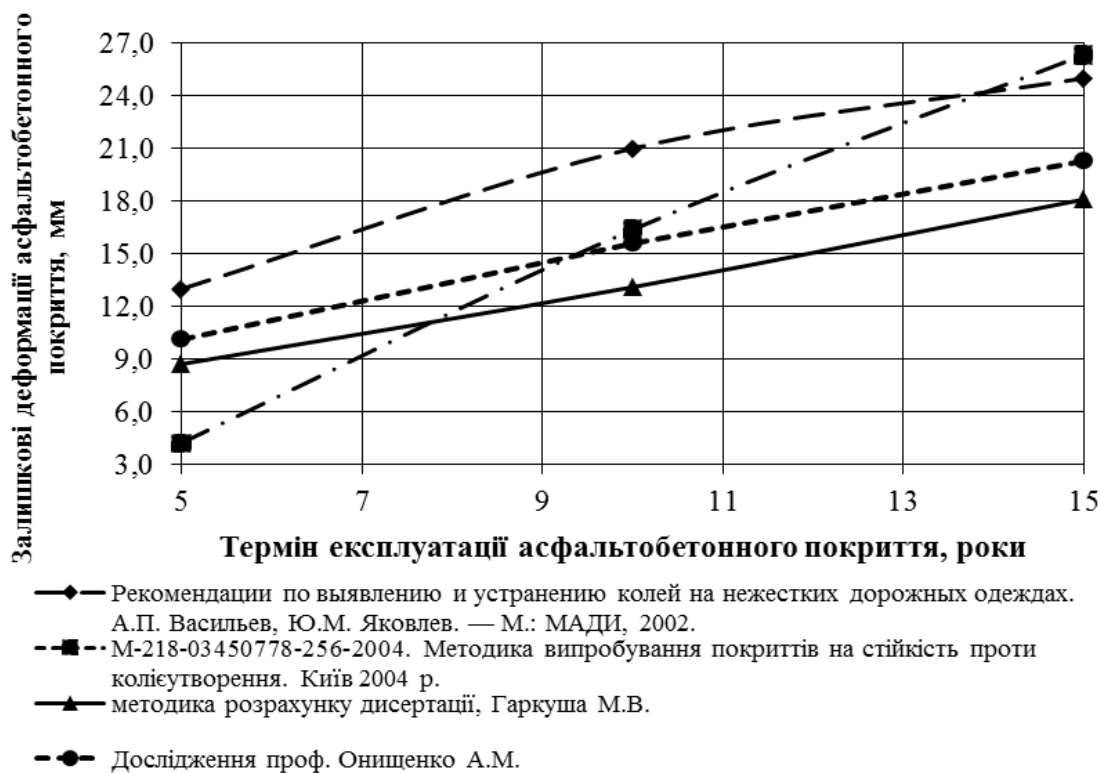


Рисунок 3.81 – Результати розрахунку експериментальної конструкції 3 дорожнього одягу на колійність



Рисунок 3.82 – Результати розрахунку експериментальної конструкції 3^{21} дорожнього одягу на колійність

На третьому етапі перевірки порівнюємо експериментальні та теоретичні дані оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії від різного терміну експлуатації дорожнього одягу, результати яких наведені в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Результати співставлення експериментальних та теоретичних даних визначення коліє утворення асфальтобетонного покриття

Шифр конструкції	Колія, (теоретична)	Колія, на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості» (експериментальна)	Δ , %
1	17,1	20,2	18
3	13,4	12,1	10
3^{21}	11,7	12,8	9

Отримані результати свідчать, що теоретичні розрахунки задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9,0 % до 18,0 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95. Це вказує на можливість практичного застосування подібних залежностей, які отримані та наведені у розділі 2 з метою забезпечення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії або прогнозування накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті нежорстких дорожніх одягів, з урахуванням впливу підвищених температур та дії коліс транспортних засобів.

Приклад числового аналізу оцінки стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу наведені в Додатку Е.

3.7 Висновки по розділу

За результатами роботи, наведеними в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Досліджено властивості асфальтобетону та укріплених ґрунтів, а саме: фізико-механічні властивості; розрахункові параметри термов'язкопружньопластичних властивостей (функція деформації, функція релаксації, функція пластичності), міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; характеристики утворення колії.

2. Одержані порівняльні результати випробувань асфальтобетонів типу А, Б (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-20), з яких випливає, що мінімальне значення глибини колії при температурі +50 °С становить 3,5 мм для ЩМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів.

3. Отримані експериментальні результати щодо залежності міцності на розтяг при згині від часу твердіння при 5% ПЦ для супіска та різній кількості волокон, встановлено, що на 90-ту добу в порівнянні з контрольним зразком

міцність при додаванні полімерних волокон від маси цементу в кількості 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % вища на 4%, 11%, 26%, 20 % відповідно; при 9% ПЦ вища на 4 %, 14 %, 24 %, 12 % відповідно; при 13% ПЦ вища на 8 %, 14 %, 28 %, 28 % відповідно.

4. Використана методика з визначення деформаційних властивостей матеріалів дорожньої конструкції в лабораторних умовах. Результатами досліджень при випробуванні матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу дали можливість отримати параметри функцій релаксації та функції модуля деформації та коефіцієнту пластичності.

5. На підставі натурних та стендових досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, перевірина адекватність теоретичних положень, підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними. Результати досліджень дозволили встановити підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером, а також укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу.

6. Результатами дослідження встановлено оптимальні витрати підґрунтовки, що складають від 0,3 – 0,7 л/м² і суттєво залежить від виду асфальтобетону. Це свідчить проте, що при проектуванні асфальтобетонних шарів необхідно враховувати оптимальні параметри технології їх влаштування.

7. На основі чисельного аналізу встановлено і доведено можливість підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером (при їх кількості до 5 %); укріпленого шару основи та раціонального конструювання

дорожнього одягу. Проведено числове моделювання вертикальних переміщень в покритті нежорсткого дорожнього одягу за допомогою методу кінцевих елементів для різних конструкцій дорожнього одягу. На основі отриманих результатів зроблено висновок про те, що максимальні поля переміщень розповсюджуються в конструкції в якій не використовуються укріплення шарів основи, максимальні переміщення в конструкції з використанням укріплених матеріалів менші до 40%.

8. На підставі натурних, стендових та теоретичних досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9,0 % до 18,0 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

9. Основні результати досліджень третього розділу висвітлено в роботах автора: [6, 10, 11, 27, 65, 116, 119, 127, 139, 155, 163, 165 – 167, 175, 176, 184,].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Практичні рекомендації щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Метою даних рекомендацій є підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

Відсутність об'єктивної методики розрахунку стосовно утворення колії на асфальтобетонному покритті, постійне зростання навантажень від транспортних засобів (збільшення інтенсивності руху, збільшення долі великовантажних транспортних засобів, збільшення кількості осей на транспортних засобах, збільшення тиску у колесах, застосування одно-балонних шин) до більш інтенсивного утворення колії на асфальтобетонному покритті. Все це вимагає розробки ефективних заходів, що сприятимуть підвищенню стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії з урахуванням основних чинників, що призводять до утворення колії та існуючого досвіду експлуатації автомобільних доріг України [39, 40].

Всі різноманітні чинники утворення колії можна розділити на три основні групи [6, 7, 11, 65]:

конструктивні – недостатня міцність дорожньої конструкції, недостатнє зчеплення між асфальтобетонними шарами покриття та основою, накопичення залишкових деформацій у ґрунті земляного полотна, накопичення пластичних деформацій в асфальтобетонних шарах та основі;

технологічні – неоднорідність (сегрегація) при виготовленні та укладанні асфальтобетонної суміші, недостатні або надмірні витрати підґрунтовки, недостатнє ущільнення основи та асфальтобетонних шарів покриття та основи;

рецептурно-структурні – недостатність вимогам до асфальтобетону, асфальтобетонної суміші та її компонентів, а також до матеріалів шарів основи.

Підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії рекомендується забезпечувати за рахунок застосування комплексу заходів, направлених на підвищення стійкості до накопичення залишкових деформацій матеріалу покриття (шляхом диференційованого вибору типів, видів і марок асфальтобетонів у відповідності з кліматичними умовами експлуатації), підвищенням жорсткості, міцності і стабільності ґрунту земляного полотна та шарів основи, а також забезпечення необхідного зчеплення між шарами.

Проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної стійкості до утворення колії, являє собою суцільний процес розрахунку покриття на міцність, зсувостійкість, а також морозостійкості з урахуванням техніко-економічного обґрунтування варіантів конструкцій.

Інженерний метод розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу включає в себе:

- визначення кількості та товщини конструктивних шарів;
- вибір матеріалів для шарів конструкції з урахуванням інноваційних матеріалів та технологій;
- застосування енергозберігаючих та екологічних матеріалів та технологій.

При розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно дотримуватися наступних принципів:

- асфальтобетонні шари покриття та шари основи можуть бути типовими чи розробленими окремо для кожного шару конструкції з урахуванням різного рівня розрахункового навантаження;
- технологія влаштування асфальтобетонних шарів покриття та шарів основи повинна забезпечувати можливість максимальної механізації

дорожньо-будівельних процесів та враховувати реальні умови виконання будівельних робіт.

При влаштування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно враховувати конструктивні, рецептурно-структурні та технологічні заходи щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії.

4.1.1 Конструктивні заходи щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії

Для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії при конструюванні дорожнього одягу нежорсткого типу для важкого та інтенсивного руху слід дотримуватись наступних принципів:

- застосування в робочій зоні земляного полотна стабілізованих або укріплених неорганічними в'язучими ґрунтів;
- застосуванням в дренажних шарах основи штучного дробленого піску або щебенево-піщаних сумішей;
- застосування між ґрунтом земляного полотна та основою дорожнього одягу геотекстильних матеріалів [125];
- застосовування між піщаною основою і щебеним шаром основи геотекстильних матеріалів згідно з розділом [125];
- застосування в шарах основи щебенево-піщаних сумішей неукріплених та укріплених неорганічними в'язучими [125];
- не рекомендується застосовувати в шарах основи фракційний щебінь, фракційний щебінь з просочуванням та напівпросочуванням органічними в'язучими, а також чорний щебінь;
- рекомендується виконувати підґрунтовку поверхні основи покриття бітумом, модифікованим полімерами [125] (орієнтовні витрати підґрунтовки призначати згідно [125], а їх уточнення здійснювати з урахуванням [125] для забезпечення максимального зчеплення між шарами асфальтобетону);

– при застосуванні шарів асфальтобетонного покриття з підвищеною стійкістю до утворення колії рекомендується перевіряти асфальтобетони різної гранулометрії за методикою [125].

При зведенні земляного полотна із ґрунтів при умові зволоження за II та III типом [125] рекомендується укріплювати ґрунти активної зони земляного полотна неорганічними в'язучими. При цьому необхідно обов'язково влаштовувати дренаж [125, 153], та/або влаштувати фільтруючі прошарки [125, 153] та інших нормативних документів.

Рекомендується здійснювати розрахунок у літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії [Додаток Д].

Вид, марку і тип асфальтобетону для покриття в залежності від категорії дороги і кліматичних умов (зони) потрібно намічати відповідно до вимог [125]. В основному слід застосовувати щільний асфальтобетон I – II марок типів А, Б. Для умов дорожньо-кліматичних зон А-1 і А-7 на дорогах I, II, III, категорій переважно слід використовувати асфальтобетони типів А, Б та щебенево-мастиковий асфальтобетон, незалежно від дорожньо-кліматичної зони [125]. Всі конструктивні шари на бітумі модифікованому полімером.

Для запобігання утворення колії на автомобільних дорогах з рухом великовантажних транспортних засобів у верхньому шарі покриття рекомендується застосовувати асфальтобетонні суміші типу А та ЩМА.

У нижніх шарах основи рекомендується використовувати щільні асфальтобетони з залишковою пористістю не менше 3 % та пористі асфальтобетони з залишковою пористістю не більше 7%.

Товщини проміжних шарів дорожнього одягу слід призначати такими, щоб під дією розрахункових навантажень у монолітних шарах основи з матеріалів, укріплених неорганічними чи в'язучими, а також комбінованими в'язучими, напруження при згині повинні не перевищували допустимого, а в

зернистих і малозв'язних матеріалах (гравій, пісок, суміші на основі рідких органічних в'язучих і т. д.) не виникали б неприпустимі деформації зсуву і не відбувалась їх дезінтеграція. Ступінь дезінтеграції зернистих матеріалів визначається за методикою [125].

З урахуванням вищенаведених вимог рекомендується у зв'язку з небезпекою утворення глибокої колії встановити обмеження для дорожніх покриттів по параметру допустимої глибини колії, що наведено в таблиці 4.1 [125]. Ділянки доріг з глибиною колії більше гранично допустимих значень відносяться до небезпечних для руху автомобілів і вимагають негайного проведення робіт по усуненню колії та підсиленню конструкції.

Таблиця 4.1 – Допустима глибина колії

Шифр району	Глибина колії на різних категоріях дороги, мм/ розрахункова швидкість руху, км/год			
	I/>120	II/100	III/80	IV-V/60
A-1; A-2	5/10	5/10	10/20	15/20
A-3; A-4	5/10	5/10	10/20	15/20
A-5; A-6	5/10	5/10	15/20	15/20
A-7	5/10	5/10	15/20	15/20
Примітка: Вимоги до глибини колії у чисельнику допустима колія, у знаменнику гранично допустима глибина колії				

Товщину асфальтобетонного покриття, що влаштовується з порівняно дорогих матеріалів, слід призначати близькою до мінімальної конструктивної.

Капітальні дорожні одяги з асфальтобетонними покриттями застосовують переважно на дорогах I, II і III категорій, на основних внутрішньогосподарських дорогах великих промислових підприємствах і важливих будівельних об'єктах.

Товщину шару дорожнього одягу нежорсткого типу призначають з урахуванням процесу формування стійкої структури шару і його сполучення з існуючою конструкцією. Розрахунковий (проектний) термін служби

запроектованого дорожнього одягу і необхідний рівень проектної надійності необхідно призначати на основі ДБН В.2.3-4 [40]. Покриття та верхні шари основи повинні відповідати проектним навантаженням і бути водо-, морозо- і термостійкими. Для верхнього шару асфальтобетонного покриття та інших шарів вибирають матеріал згідно з ВБН 2.3-218-186 та [39, 40, 65, 125].

Розрахунок дорожнього одягу полягає у визначенні необхідної товщини шарів дорожніх одягів, які розроблені на етапі конструювання і відповідають прийнятим критеріям міцності згідно з ВБН 2.3-218-186 [39]. Для розрахунку конструкції дорожнього одягу значення коефіцієнтів запасу міцності для відповідних критеріїв призначається у залежності від категорії дороги згідно з ВБН 2.3-218-186 [39].

Міжремонтний термін для проведення робіт з усунення на асфальтобетонних покриттях колії недопустимої глибини з метою відновлення поперечної рівності покриття (термін служби дорожнього покриття за критерієм поперечної рівності) рекомендується не менше зазначених [7, 40].

4.1.2 Технологічні заходи при влаштуванні конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної стійкістю до утворення колії

При спорудженні земляного полотна потрібно дотримуватись технології зведення конструкції земляного полотна та забезпечення якості робочого шару [40, 125].

З метою забезпечення однорідності при стабілізації чи укріпленні шару дорожнього одягу рекомендується застосовувати холодний ресайклінг на дорозі або в стаціонарних чи пересувних змішувачах примусової дії [6, 11, 27, 65, 40, 125].

З метою підвищення розподільчої та несучої здатності між ґрунтом земляного полотна і основою, між щебеневою основою і асфальтобетонним покриттям рекомендується використовувати геосинтетичні матеріали. При

застосуванні геосинтетичних матеріалів для підвищення стабільності ґрунту земляного полотна рекомендується дотримуватись вимог [125].

Для зменшення зволоження ґрунту земляного полотна та основи дорожнього одягу рекомендується передбачати такі заходи, як зміцнення узбіч, забезпечення їх належного поперечного похилу і водонепроникності, влаштування бордюрів і лотків, а також забезпечення безпечної відстані від брівки земляного полотна до рівня тривалих поверхневих вод, підвищене ущільнення (до $K = 1,03 \dots 1,05$) верхньої частини робочого шару в дорожньо-кліматичних зонах У-ІІ, У-ІІІ.

При влаштуванні асфальтобетонного покриття рекомендується дотримуватись технологічного регламенту, приділяючи особливу увагу наступним технологічним операціям: підготовка основи дорожнього одягу; підґрунтовка шару основи; транспортування асфальтобетонної суміші; укладання асфальтобетонної суміші; контроль якості робіт.

Всі роботи необхідно виконувати згідно [40, 125]. До початку влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу слід скласти та затвердити графік виконання робіт, розробити транспортну схему та технологічну карту на влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

4.1.2.1 Підготовка основи дорожнього одягу

Поверхню основи до укладання асфальтобетонної суміші ретельно очищують від пилу, бруду. При необхідності основу вирівнюють, ліквідують ямковість, тріщини та ін.

4.1.2.2 Підґрунтовка шару основи

Виконують підґрунтовку на автомобільних дорогах загального користування [40, 125] шляхом рівномірного розподілу бітуму, модифікованого полімерами [40, 125, 135 – 137].

4.1.2.3 Транспортування асфальтобетонної суміші

Тривалість транспортування асфальтобетонної суміші повинна бути такою, щоб суміш не встигала охолонути нижче мінімально допустимої температури на початку ущільнення.

При цьому температура асфальтобетонної суміші не повинна перевищувати її максимально допустиме значення для кожного конкретного виду в'язучого [40, 125, 135 – 137].

Для зменшення втрат тепла асфальтобетонної суміші під час транспортування, слід застосовувати великовантажні автомобілі вантажопідйомністю 25 – 40 тон з кузовами, що підігріваються, а також обов'язковим укриттям гарячої суміші. При цьому для збереження температури асфальтобетонної суміші на автосамоскидах необхідно влаштовувати повітряний прошарок між тентом та поверхнею суміші.

Рух автомобільного транспорту при транспортуванні асфальтобетонної суміші необхідно організувати таким чином, щоб забезпечити безперервне укладання суміші.

4.1.2.4 Укладання асфальтобетонної суміші

Асфальтобетонна суміш укладається у відповідності з технологічною картою на влаштування асфальтобетонного покриття.

Укладання асфальтобетонної суміші рекомендується виконувати асфальтоукладальниками, які обладнані подвійним трамбуєчим брусом та вигладжуючою віброплитою або трамбуєчим брусом, вигладжуючою віброплитою та гідравлічними пресувальними планками.

При укладанні асфальтобетонної суміші для підвищення стійкості до утворення колії рекомендується застосування перевантажувача. Використання перевантажувача вирішує одночасно такі технологічні задачі – зменшує гранулометричне та температурне розшарування асфальтобетонної суміші (сегрегацію), а також виконує постійне завантаження бункера асфальтоукладальника сумішшю, що сприяє покращенню рівності

асфальтобетонного покриття та підвищенню стійкості до утворення колії. Укладання слід проводити на всю ширину проїзної частини. Ущільнення здійснюють важкими гладковальцевими котками [40, 125]. Роботи по ущільненню необхідно організувати так, щоб на протязі зміни котки не мали перерви в роботі.

Для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії рекомендується ущільнювати асфальтобетонну суміш до коефіцієнта ущільнення не нижче ніж 1,00 для I та II категорії, а для III – 0,99.

Рекомендується слідкувати за процесом ущільненням шарів конструкції дорожнього одягу шляхом постійної перевірки коефіцієнта ущільнення під час укладання.

4.1.3 Регулювання властивостей матеріалів конструкцій дорожнього одягу для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії

4.1.3.1 Матеріалознавчі заходи направленого регулювання характеристик матеріалів основи і земляного полотна

Для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії, рекомендується застосовувати заходи по укріпленню незв'язних матеріалів шарів основи та ґрунту земляного полотна.

При укріпленні незв'язних матеріалів шарів основи та ґрунтів потрібно враховувати: вихідні властивості матеріалів та ґрунтів, умови експлуатації автомобільної дороги. Виходячи з цього призначати відповідний метод укріплення [125] та інших чинних нормативних документів.

Стійкість до накопичення залишкових деформацій робочої зони земляного полотна рекомендується підвищувати за рахунок оптимізації його зернового складу.

Ґрунт оптимального зернового складу повинен містити 60 – 80% піщаних, 15 – 35% пилюватих і 5 – 10 % глинистих частинок. При

невідповідності зернового складу даного ґрунту рекомендується застосовувати гранулометричну добавку.

Укріплення ґрунту робочої зони земляного полотна неорганічними в'язучими рекомендується здійснювати для автомобільних доріг I, II, III категорій. Укріплений ґрунт повинен відповідати вимогам [125, 153].

Стійкість робочої зони земляного полотна рекомендується підвищувати за рахунок використання геосинтетичних матеріалів для ґрунту [40, 125].

Для шарів основи нежорсткого дорожнього одягу не рекомендується застосовувати фракційний щебінь та чорний щебінь методом заклинки у зв'язку з їхньою дезінтеграцією під час експлуатації при дії великовантажних транспортних засобів. Для цього рекомендується застосовувати рядовий щебінь або піщано-щебеневі суміші [6, 11, 40, 125, 153].

У шарах основи рекомендується застосовувати піщано-щебеневі суміші, укріплені неорганічними в'язучими [6, 11, 40, 125, 153].

4.1.3.2 Структурно-рецептурні заходи направленої регулювання характеристик асфальтобетонну

Матеріалознавчі заходи направленої регулювання характеристик асфальтобетону передбачають застосування підходів, що підвищують стійкість асфальтобетонного покриття та основи. З цією метою передбачається застосовувати підвищені вимоги до складових асфальтобетонних сумішей, їх зернового складу та властивостей асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону.

4.1.3.3 Вимоги до бітумного в'язучого

Бітумне в'язуче рекомендується застосовувати з урахуванням категорії дороги та дорожньо-кліматичного районування згідно з ДБН В 2.3-4 [40], ДСТУ Б В.2.7-119 [145].

Для асфальтобетонного покриття автомобільних доріг I, II категорій необхідно застосовувати бітуми, модифіковані полімерами марок

БМПА 40/60-57, БМПА 60/90-53, БМПА 90/130-50, БМК 40/60-59, БМК 60/90-55, БМК 90/130-52, БМПП 60/90-64, який повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-135, для влаштування шарів зносу та захисних шарів БМПЗ 60/90-56, БМПЗ 90/130-53 згідно з ДСТУ Б В.2.7-135, БМКП 40/60-68, БМКП 60/90-65, БМКП 90/130-62 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313 в усіх конструктивних шарах [125, 135 – 137, 144].

Таблиця 4.2 – Вимоги до бітуму, модифікованого полімерами

Назва показника	Значення показників згідно з [125]
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм, не менше	55 – 95
Температура пом'якшеності за кільцем і кулею, °С, не нижче	75
Еластичність за температури 25 °С, %, не менше	80

Для автомобільної дороги III категорії верхній шар асфальтобетонного покриття застосовують на бітумах модифікованих полімером марок БМПА 40/60-57, БМПА 60/90-53, БМПА 90/130-50, які повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-135, СОУ 45.2-00018112-067 [125, 135, 144], БМК 40/60-59, БМК 60/90-55, БМК 90/130-52 які повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-313, БМПП 60/90-64, який повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-135 [125, 135, 144]. В інших випадках бітуми нафтові дорожні в'язкі марок: БНД 40/60; БНД 60/90 БНД 90/130 в усіх конструктивних шарах [125].

Для забезпечення високих показників зчеплення бітумного в'язучого з поверхнею мінеральних матеріалів, рекомендується використовувати адгезійні добавки – катіонні поверхнево-активні речовини (ПАР) та (або) інші технологічні заходи, що підвищують зчеплюваність бітумного в'язучого з поверхнею мінеральних матеріалів. Бітуми, модифіковані

адгезійними добавками, повинні відповідати вимогам СОУ 45.2-00018112-067 [144].

4.1.3.4 Вимоги до мінеральних складових

Щебінь та дрібний заповнювач (пісок) для приготування асфальтобетонних сумішей повинні відповідати вимогам [40, 125].

Рекомендується для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії використовувати порошок мінеральний активований [125, 145 - 147].

4.1.3.5 Вимоги до зернових складів асфальтобетонної суміші

Для капітальних дорожніх одягів вид, марку і тип асфальтобетону для покриття в залежності від категорії дороги і кліматичних умов (зони) потрібно надавати відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-119 [125, 145].

Вид, марку і тип асфальтобетону для покриття в залежності від категорії дороги і кліматичних умов (зони) потрібно підбирати відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-127 [125, 145, 146].

Нижній шар покриття проектувати товщиною не менше ніж 10 см згідно з ВБН 2.3-218-186 із сумішей асфальтобетонних гарячих крупнозернистих пористих (високопористих) з максимально можливим вмістом щебеню (не менше ніж 55 %) на бітумі БНД відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-127, Р В.2.7-218-21476215-796 [145, 146, 150].

Середній (зв'язуючий) шар тришарового асфальтобетонного покриття необхідно проектувати товщиною не менше ніж 10 см із сумішей асфальтобетонних гарячих крупнозернистих щільних типу А1 з максимально можливим вмістом щебеню (від 60 % до 65 %) на модифікованому бітумному в'язучому (з температурою розм'якшеності за кільцем і кулею не менше ніж 60 °С) відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-127 [145, 146].

Верхній шар покриття проектувати товщиною 5 см із сумішей щебенево-мастикових асфальтобетонних на модифікованому бітумному

в'язучому (з температурою розм'якшеності за кільцем і кулею не менше ніж 60 °С) з адгезійними добавками. Максимальний розмір фракції щебеню 20 (15) мм відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127. Вміст зерен пластинчатої (лещадної) та голчатої форми у щебені не повинен перевищувати 15 % згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 [146].

Шари зносу та конструкції дорожнього одягу з литої емульсійно-мінеральної суміші нежорсткого дорожнього одягу.

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття доцільно використовувати полімерні добавки при модифікації асфальтобетонної суміші згідно з ДСТУ Б В.2.7-313 [136], а також застосовувати армуючі мікрОВОлокна Р В.2.7-218-21476215-796 [120, 150].

При влаштуванні асфальтобетонного покриття рекомендується дотримуватись технологічного регламенту, приділяючи особливу увагу наступним технологічним операціям: підготовка основи захисного шару; підгрунтовка захисного шару основи; транспортування асфальтобетонної суміші;—укладання асфальтобетонної суміші; контроль якості робіт.

Всі роботи необхідно виконувати згідно з ДБН В 2.3-4 [40]. До початку влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього покриття слід скласти та затвердити графік виконання робіт, розробити транспортну схему та технологічну карту на влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього покриття.

4.1.3.6 Вимоги до властивостей асфальтобетонної суміші та асфальтобетону

Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон в залежності від категорії та дорожньо-кліматичного районування повинні відповідати вимогам до фізико-механічних властивостей [125, 145 – 147]. Асфальтобетон верхнього шару повинен відповідати вимогам стійкості асфальтобетону до утворення колії згідно з таблицею 4.3.

Перевірку асфальтобетону вимогам на стійкість до утворення колії здійснюють у наступній послідовності: перевіряють підібраний склад асфальтобетонної суміші за показником міцності при стиску за температури 50 °С (R_{50} , МПа) асфальтобетону; якщо задовольняється вимога за показником R_{50} , то здійснюють перевірку за показником глибини колії за температури 60 °С (w , мм), відповідно [125].

Таблиця 4.3 – Вимоги стійкості асфальтобетону до утворення колії

Назва показників	Норми відповідно до районування			
	A-1; A-2	A-3; A-4	A-5; A-6	A-7
1. Границя міцності при стиску R_{50} , МПа, за температури 50 °С: – для асфальтобетонів із сумішей типів: А, не менше Б, не менше – для ЩМА:, не менше	1,8/1,5 2,0/1,7 1,5/1,1	1,9/1,6 2,1/1,8 1,5/1,2	2,0/1,7 2,2/1,9 1,6/1,3	2,1/1,8 2,3/2,0 1,7/1,4
2. Глибина колії w , мм, при температури випробувань 60 °С: – для асфальтобетонів із сумішей типів: А, не більше Б, не більше – для ЩМА:, не більше	3,0 3,0	3,0 3,0	3,0 3,0	3,0 3,0

Температуру випробування приймають рівною максимальній температурі $T_{\max}^n$ покриття даного регіону або встановлюють за аналітичною залежністю:

$$T_{\max}^n = (T_{\max}^{nov} - 0,00618 \times \varphi^2 + 0,2289 \times \varphi + 42,2) \times (0,9545) - 17,78, \quad (4.1)$$

де φ – географічна широта об'єкту будівництва в градусах;

$T_{\max}^{nov}$ – середня висока температура повітря за сім днів, °C.

Значення параметрів аналітичної залежності (4.1) $T_{\max}^{nov}$ встановлюють на основі [125]. Емпіричні коефіцієнти аналітичної залежності (4.1) рекомендується уточнювати на основі метеорологічних даних за останні 15 років для відповідного району будівництва. Значення встановлюють $T_{\max}^n$ з вірогідністю 0,98.

Показник однорідності асфальтобетонної суміші необхідно оцінювати за коефіцієнтом варіації показника границі міцності на стиск асфальтобетону за температури 50 °C [125]. Він не повинен перевищувати для асфальтобетонів: для автомобільних доріг I, II категорії – 15; для III категорії – 18.

Для підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії рекомендується проектувати склад асфальтобетону для кожного конкретного об'єкту безпосередньо з використанням тих матеріалів, що передбачені на даному об'єкті будівництва. При цьому під час проектування складу асфальтобетону необхідно передбачати різні варіанти зернових складів і вибирати з них такий для влаштування асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах загального користування, який найкраще відповідає вимогам до стандартних фізико-механічних властивостей, а також має найнижче значення показника стійкості асфальтобетону до накопичення залишкових деформацій.

4.1.3.7 Вимоги до матеріалів підґрунтовки

Бітумне в'язуче або бітумну емульсію необхідно наносити рівномірним шаром на сухий, чистий і рівний шар асфальтобетону.

Для підгрунтовки поверхні основи шару автомобільних доріг I, II, III категорії рекомендується застосовувати бітуми модифіковані полімерами згідно з ДСТУ Б В.2.7-135, СОУ 42.1-37641918-067 [135 – 137, 144] та структуруючими добавками, або модифікованою бітумною емульсією у відповідності ДСТУ Б В.2.7-129 (орієнтовні витрати підгрунтовки призначати згідно ДБН В.2.3-4 [40], а їх уточнення здійснювати з урахуванням вимог СОУ 45.2-00018112-046[180] для забезпечення максимального зчеплення між шарами асфальтобетону). Слід звернути особливу увагу на рівномірність розподілу і норму витрат в'язучого.

Для підгрунтовки і приклеювання армуючих матеріалів використовують:

- в'язкі дорожні бітуми модифіковані полімерами згідно з ДСТУ Б В.2.7-135 та структуруючими добавками з пенетрацією при температурі 25 °С від 60 мм-1 до 130 мм-1 [6, 11, 40, 125, 135 – 137];

- швидкорозпадну катіонну бітумну емульсію марок ЕКМ-Ш або ЕК-Ш [6, 11, 40, 125, 135 – 137].

Рекомендується застосовувати бітум, модифікований полімером, який повинен відповідати вимогам згідно [125] та вимогам таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вимоги до підгрунтовки

Назва показника	Значення показників
Глибина проникності голки (пенетрація при температурі 25 °С, 0,1 мм, не менше	50
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С, не нижче	85,0
Еластичність за температури 25 °С, %, не менше	90
Зчеплюваність із поверхнею гранітного щебеню, бали, не менше	5
Міцність зчеплення, МПа, не менше – з основою	0,55

На основі проведених дисертаційних досліджень були розроблені практичні рекомендації, котрі стали основою ряду нормативних документів, в тому числі Р В.2.3-218-21476215-795 [125].

4.2 Заходи направлені на усунення утвореної колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу

Наведені технологічні особливості по ремонту асфальтобетонного покриття в результаті утворення колії та запропоновані технічні рішення щодо усунення можливих дефектів під час експлуатації, з метою запобігання подальших руйнувань та підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

Роботи по усуненню колії в асфальтобетонному покритті необхідно виконувати з урахуванням чинних нормативних документів [125].

Усунення колійності в асфальтобетонному покритті можна розділити на наступні види:

1. Організаційні, що базуються на методах зниження темпів утворення колії [182]:

- обмеження денного потоку вантажного транспорту в літній час при підвищених температурах (при добовому завантаженні автомобільної дороги за рахунок нічного часу);

- проведення та дотримання вимог вагового контролю щодо величини навантаження на вісь автомобіля та застосування штрафних санкцій при недотриманні власників автотранспорту вимог;

- забезпечення зменшення транспортного потоку з крайніх правих смуг, за рахунок створення рівномірного потоку по смугам руху та ліквідація місць зниження швидкості руху;

2. Ліквідація утвореної колії асфальтобетонного покриття, що не передбачає повного усунення причин її виникнення:

- зменшення глибини колії за рахунок часткового холодного або гарячого фрезерування (зрізання колії, хвиль, напливів);
- проведення часткового гарячого або холодного фрезерування та подальшим його влаштуванням, або з влаштуванням захисного шару чи проведенням поверхневої обробки;
- проведення поверхневої обробки або влаштування тонкого шару покриття на всій ширині проїзної частини (технологія «Сларрі Сіл», «Мікросюрфейсінг»);
- проведення повного гарячого або холодного фрезерування існуючого покриття та влаштування нового асфальтобетонного покриття [119, 184].

3. Усунення причин, що впливають на утворення колійності асфальтобетонного покриття:

- проведення ремонту з подальшим підсиленням конструкції дорожнього одягу (зміна поперечного профілю, влаштування додаткових шарів покриття, застосування геосинтетичних матеріалів, використання сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, що підвищують стійкість покриття до утворення колії та інше).

4. Засоби направлені на попередження утворення колії:

- проведення розрахунку дорожньої конструкції з урахуванням накопичення залишкових деформацій;
- підбір дорожньо-будівельних матеріалів підвищеної стійкості до утворення колії високій температурі навколишнього середовища та вологості основи і шарів конструкції та підвищеного навантаження від дії транспортних засобів;
- суровий контроль якості на підготовчому етапі, етапі будівництва та утримання автомобільної дороги;
- проведення обов'язкового лабораторного дослідження колієстійких матеріалів конструкції та з послідуочим стендовим чи полігонним дослідженням конструкції дорожнього одягу на утворення колії з

обов'язковим порівнянням різних типів та видів конструкцій дорожнього одягу.

Для доріг і вулиць міст з інтенсивним рухом великовантажного транспорту рекомендується під час ремонтів, як мінімум, застосовувати два шари із асфальтобетону відремонтованої основи, що склеєні між собою бітумом модифікованим полімером або модифікованою полімером бітумною емульсією: верхній із дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 4 – 6 см; нижній із крупнозернистого асфальтобетону товщиною 8 – 12 см.

4.3 Приклади практичного застосування дисертаційних досліджень

4.3.1 Влаштування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості на автомобільній дорозі М 06 Київ – Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+00 в Житомирській та Київській областях

Виробниче впровадження наукових розробок та практичних рекомендацій, щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу знайшли практичне застосування при проектуванні конструкцій в 2012 році при виконанні капітального ремонту автомобільної дороги державного значення М-06 Київ – Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+000 в Житомирській та Київській областях.

Під час виконання роботи були максимально враховані умови експлуатації даного автомобільної дороги та особливості капітального ремонту.

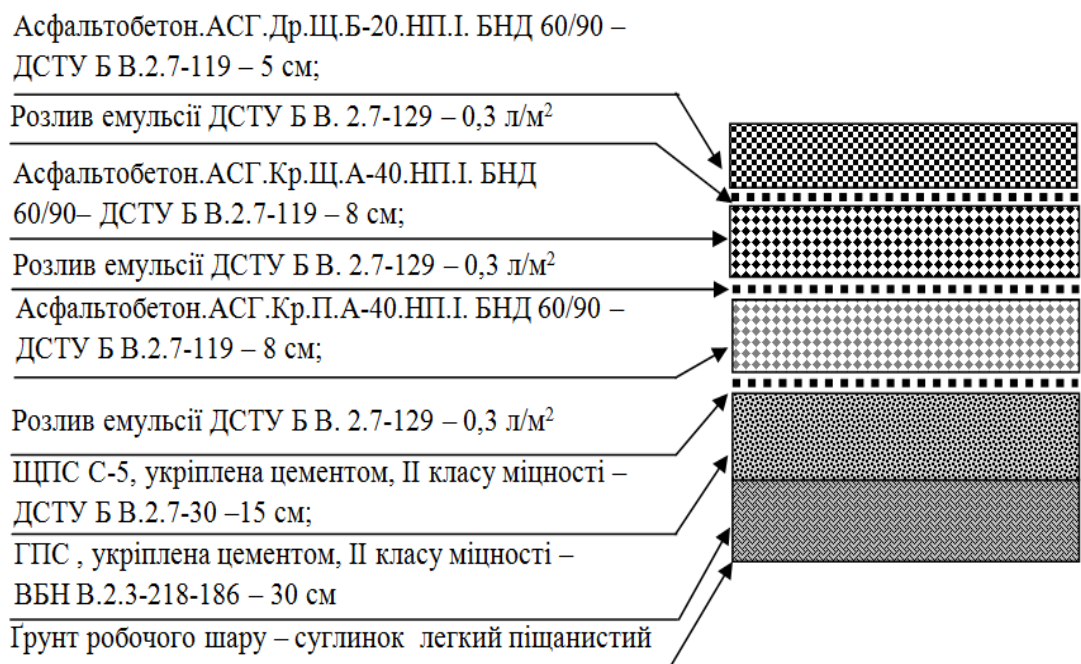
На основі діючих нормативних документів при проектуванні дорожнього одягу призначаються різні дорожньо-будівельні матеріали з відповідними розрахунковими характеристиками, наукових розробок та рекомендацій були запроектовані різні варіанти конструкцій дорожнього одягу з використанням укріплених шарів неорганічними в'язучими речовинами та вибраний оптимальний варіант з точки зору забезпечення

колієстійкості, та довговічності нежорсткого дорожнього одягу від дії великовагових транспортних засобів на автомобільних стоянках майданчиків відпочинку при розробленні проектної документації на капітальний ремонт автомобільної дороги державного значення М-06 Київ-Чоп на ділянці км 14+080 - км 128+000 в Житомирській та Київській областях.

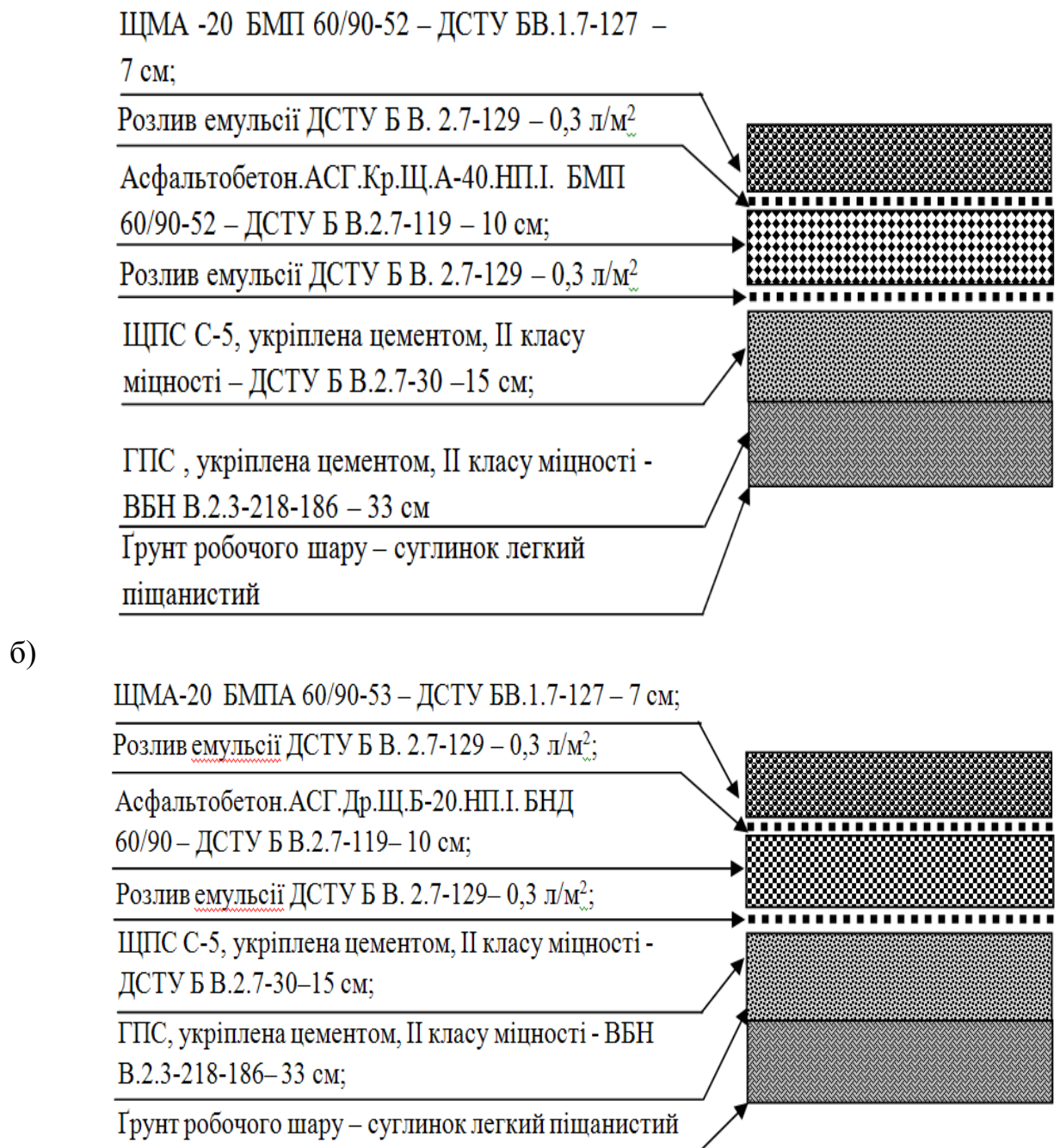
Вибір матеріалів конструкції нежорсткого дорожнього одягу здійснювався з огляду на важливість даного об'єкту та з урахуванням необхідності забезпечення колієстійкості, при цьому враховувались та вибирались матеріали, що дають найкращий ефект по забезпеченню колієстійкості асфальтобетонного покриття та мають широку апробацію.

Для забезпечення необхідних розрахункових характеристик в процесі виконання робіт були розраховані варіанти конструкцій з застосуванням в основі оптимальної щебенево-пішаної суміші С-5, укріпленої цементом, II класу міцності.

На основі проведених розрахунків було запропоновано варіанти конструкцій (рис. 4.1 а, б, в) для автомобільних стоянок майданчиків відпочинку з використанням укріплених шарів неорганічними в'язучими речовинами.



а)



в)

Рисунок 4.1 – Запропоновані конструкції дорожнього одягу (а – варіант №1; б – варіант №2 ; в – варіант №3)

Вибір матеріалів конструкції нежорсткого дорожнього одягу здійснювався з огляду на важливість даного об'єкту та з урахуванням необхідності забезпечення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, при цьому враховувались та вибирались матеріали, що дають найкращий ефект та мають широку апробацію.

4.3.2 Влаштування шару основи методом холодного ресайклінгу при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі / на Гомель /, км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342

Виробниче впровадження наукових розробок було здійснено при проведенні роботи з розробки складу укріпленої бітумною емульсією та цементом фрезерованої суміші асфальтобетону та нового мінерального матеріалу для влаштування шару основи методом холодного ресайклінгу при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі, в Чернігівській області (км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342) на протязі 2012 року. Під час виконання роботи були максимально враховані умови експлуатації даного автомобільної дороги та особливості капітального ремонту.

В 2012 році виконувався капітальний ремонт міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі / на Гомель /, км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342, Чернігівська область із залученням науково-дослідної лабораторії кафедри ДБМ і хімії Національного транспортного університету.

Під час виконання роботи був виконаний розрахунок об'ємів для влаштування основи методом холодного ресайклінгу, також розроблено зерновий склад суміші фрезерованого асфальтобетону та нового мінерального матеріалу для технології холодного ресайклінгу з розробкою рецепту суміші фрезерованого асфальтобетону та нового мінерального матеріалу (табл. 4.5, рис. 4.2), укріпленого бітумною емульсією та цементом для забезпечення колієстійкості, та довговічності нежорсткого дорожнього одягу від дії великовагових транспортних засобів.

Також були розроблені практичні рекомендації, щодо застосування укріплених шарів в конструкції нежорсткого дорожнього, що дали змогу підвищити стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії, а також, зсувостійкість, тріщиностійкість покриття.

Таблиця 4.5 – Зерновий склад мінеральної частини

Матеріал	Зерновий склад у % при розмірах у мм									
	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Результати розрахунку зернового складу мінеральної частини										
Фрезерована суміш 65%	2,0	7,4	23,7	37,2	46,8	49,7	56,6	56,0	61,1	63,8
ЩПС С7 35%	1,1	4,0	12,8	20,0	25,2	26,7	30,5	30,2	32,9	34,4
Всього 100%	3,1	11,4	36,5	57,2	72,0	76,4	87,1	86,2	94,0	98,2
Вимоги ВБН В.2.3-218-545	0-10	10-40	35-65	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-98	87-100

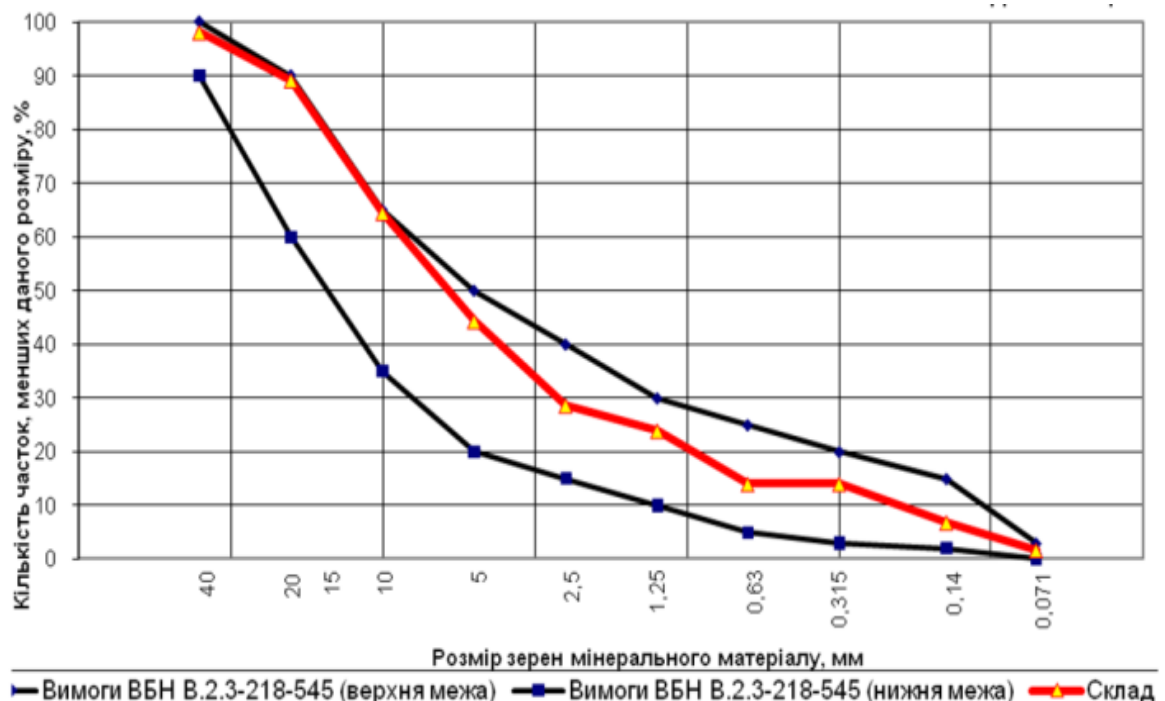


Рисунок 4.2 – Зерновий склад суміші фрезерованого асфальтобетону та ЩПС С7

Згідно діючих нормативних документів при проектуванні дорожнього одягу призначаються різні дорожньо-будівельні матеріали з відповідними розрахунковими характеристиками.

Рецепт суміші фрезерованого асфальтобетону та нового мінерального матеріалу, укріпленої бітумною емульсією та цементом [125] повинен містити кількісне співвідношення між фрезованим матеріалом верхніх шарів та новим мінеральним матеріалом (суміш С7), що є основою суміші МФУ (М40), співвідношення встановлено в розмірі 65% за масою фрезерованого

асфальтобетону та 35 % ЩПС (суміші С7), портландцемент (М-400) 3,5%, бітумна емульсія ЕБК-П 2,5%, вода 2,0%.

На основі проведених розрахунків було уточнено використання варіанту конструкції нежорсткого дорожнього одягу (рис. 4.3) при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі / на Гомель /, км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342, Чернігівська область

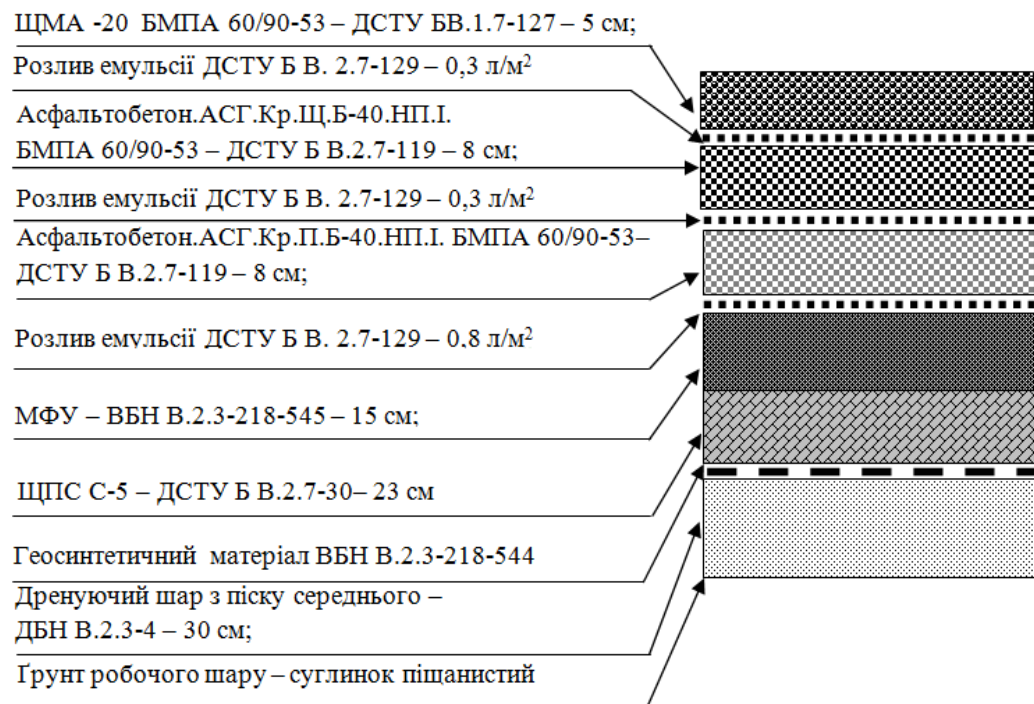


Рисунок 4.3 – Уточнена конструкція дорожнього одягу

4.3.3 Проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної стійкості до утворення колії при реконструкції вул. Братської в м. Києві

Виробниче впровадження наукових розробок було здійснено при проведенні роботи з розробки конструкції дорожнього одягу при реконструкції вул. Братської з демонтажем трамвайної колії на вул. Братській та на Контрактовій площі в м. Києві на протязі 2013 року.

Під час виконання роботи були запроектовані та проведені розрахунки конструкцій нежорсткого дорожнього одягу з шарами укріпленими

неорганічними в'язучими речовинами ґрунтів, на міцність при дії рухомого і статичного навантаження та морозостійкість.

Також були розроблені практичні рекомендації з конструювання асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної довговічності.

На основі проведених розрахунків було запропоновано використання варіантів конструкцій нежорсткого дорожнього одягу (рис. 4.4, а, б) при реконструкції вул. Братської в м. Києві

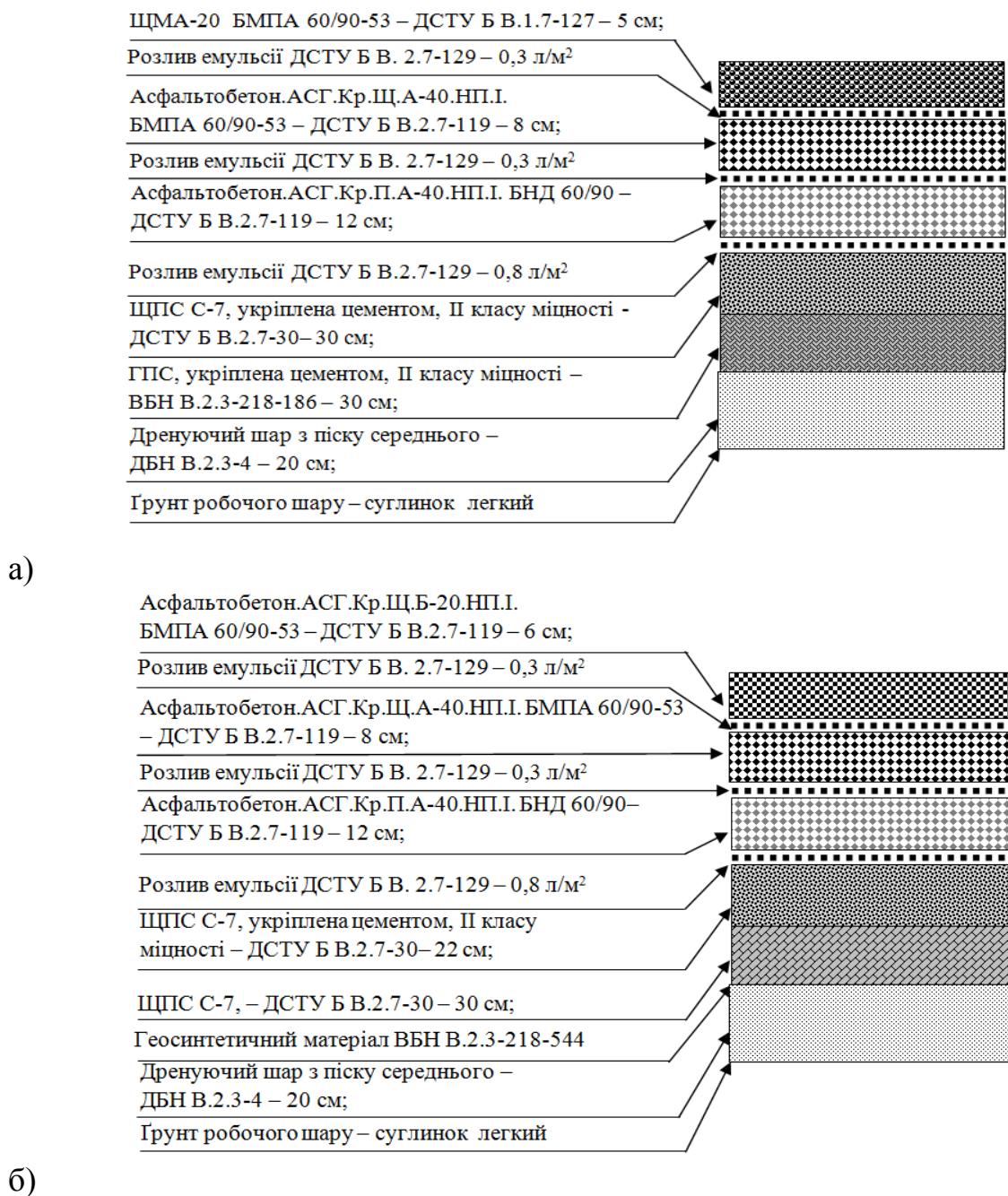


Рисунок 4.4 – Запропонована конструкція дорожнього одягу

4.3.4 Влаштування асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності на автомобільній дорозі М 03 Київ – Харків – Довжанський в Київській та Полтавській областях

Виробниче впровадження наукових розробок та практичних рекомендацій, щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії знайшли практичне застосування при проектуванні конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу, під час проведення в 2011 – 2013 роках технічного аудиту на контрактах № 1 – № 5 на замовлення «Mott MacDonald Limited» при реконструкції та капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський до параметрів І-б технічної категорії. Програма технічного аудиту включала в себе:

- відбір зразків-керна з дорожнього покриття на зазначених контрактах для лабораторних випробувань, а саме: фотоаналіз та візуальна оцінка дорожнього покриття, вимірювання товщини шарів дорожнього одягу, відносне ущільнення, визначення середньої щільності кожного шару покриття, наведених у результатах випробувань у порівнянні з проектною величиною, визначення пористості та залишкової пористості асфальтобетону, проведення аналізу вмісту бітуму для кожного шару асфальтобетонного покриття, аналіз гранулометричного складу асфальтобетонної суміші у відповідності до вимог [6, 11, 39, 40, 65, 125, 153];

- вимірювання прогинів дорожнього покриття з використанням балки Бенкельмана для аналізу міцності асфальтобетонних шарів дорожнього одягу;

- аналіз результатів та надання пропозицій по підвищенню стійкості до утворення колії та тріщиностійкості дорожнього одягу на автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський;

- аналіз результатів та обговорення пропозицій по підвищенню стійкості до утворення колії дорожнього одягу на автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський.

Також було попередньо розраховано та випробувано на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості» конструкцію дорожнього одягу. Під час виконання роботи були максимально враховані умови експлуатації даного автомобільної дороги та особливості капітального ремонту.

На основі діючих нормативних документів при проектуванні дорожнього одягу призначаються різні дорожньо-будівельні матеріали з відповідними розрахунковими характеристиками, наукових розробок та рекомендацій були запроектовані різні варіанти конструкцій дорожнього одягу з використанням укріплених шарів неорганічними в'язучими речовинами та вибраний оптимальний варіант з точки зору забезпечення стійкості до утворення колії, та довговічності нежорсткого дорожнього одягу від дії великовагових транспортних засобів на автомобільній дорозі державного значення М03 Київ – Харків – Довжанський.

На основі проведених розрахунків було запропоновано варіанти конструкцій та вибрано остаточну конструкцію (рис. 4.4).

Запроектовані склади матеріалів фрезерованих укріплених (МФУ) та показники фізико-механічних властивостей матеріалу фрезерованного укріпленого, укріпленого за методом холодного ресайклінгу з використанням комплексного в'язучого, повинні відповідати вимогам [40, 125, 153] наведено в таблиці 4.5.

Під час проектування складу асфальтобетону необхідно передбачати різні варіанти зернових складів і вибирати з них такий для влаштування асфальтобетонного покриття, яке найкраще відповідає вимогам до стандартних фізико-механічних властивостей, а також має найбільшу стійкість асфальтобетону до накопичення залишкових деформацій

Вибір конструкцій дорожнього одягу базується на техніко-економічному обґрунтуванні застосування матеріалів з урахуванням наявності дорожньо-будівельних матеріалів, наявності обладнання та механізмів, обсягу фінансування об'єкту будівництва, витрат на ремонт і утримання дороги, собівартості перевезень. При виконанні порівняння

варіантів конструкцій повинні враховуватися: терміни служби дорожнього покриття; матеріалоемність, трудомісткість і енергоємність будівництва.

Таблиця 4.6 – Фізико-механічних властивостей матеріалу фрезерованного укріпленого з використанням комплексного в'язучого.

Назва показника МФУ	Значення для марок		Отримані результати	
	M40	M20	Рецепт №1 70% - С7; 30% - Фр. а/б; 1,0% - П/Ц; 2,8% - емульсії	Рецепт №2 60% - С7; 40% - Фр. а/б; 3,0% - П/Ц; 1,6% - емульсії
Границя міцності при стиску водонасичених зразків за температури 20°C, МПа	Від 4 до 6	Від 2 до 4	2,46	4,7
Границя міцності при стиску неводонасичених зразків за температури 50°C, МПа, не менше ніж	1,0	0,8	1,47	3,89
Коефіцієнт водостійкості, не менше ніж	0,7	0,7	0,92	0,94
Примітка. Показники властивостей наведені для зразків матеріалів фрезерованих укріплених, що тверділи 28 діб				

ЩМА -20 БМПА 60/90-53 – ДСТУ БВ.1.7-127 – 5 см;

Розлив емульсії ДСТУ Б В. 2.7-129 – 0,3 л/м²

Асфальтобетон.АСГ.Кр.Щ.А-40.НП.І.

БНД 60/90 – ДСТУ Б В.2.7-119 – 8 см;

Розлив емульсії ДСТУ Б В. 2.7-129 – 0,3 л/м²;

Асфальтобетон.АСГ.Кр.П.А-40.НП.І.

БНД 60/90 – ДСТУ Б В.2.7-119 – 8 см;

Розлив емульсії ДСТУ Б В. 2.7-129 – 0,8 л/м²

МФУ - ВБН В.2.3-218-545 – 15 см

ЩПС С-5 - ДСТУ Б В.2.7-30 – 18 см;

Ґрунт робочого шару – суглинок легкий піщанистий

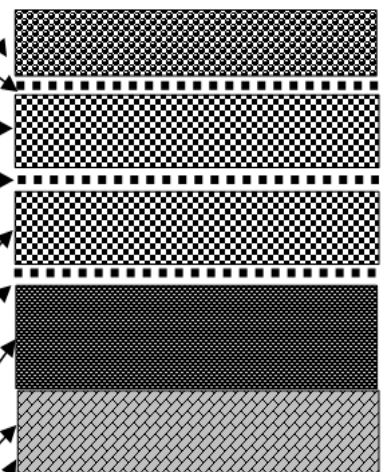


Рисунок 4.5 – Запропонована конструкція дорожнього одягу

Виконано техніко-економічну оцінку ефективності заходів з підвищення стійкості нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, на прикладі автомобільної дороги державного значення М 03 Київ – Харків – Довжанський, при обґрунтуванні укріплених шарів основи та наведено в Додатку Е.

На основі проведених розрахунків та запропонованих рекомендацій розроблено типові конструкції нежорсткого дорожнього одягу підвищеної стійкістю до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів. Також запропоновано конструкції шарів підсилення та шарів зносу при ремонті утвореної колії на асфальтобетонному покритті (додаток Ж).

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження (додаток И).

4.4 Висновки по розділу

1. Розроблено практичні заходи з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів на всіх етапах життєвого циклу покриття: проектування складу асфальтобетонних сумішей та контролю якості їх складових; проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу; технології приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування покриття.

2. Розроблено вимоги до матеріалів асфальтобетонного покриття та параметрів його конструкції.

3. Удосконалено методику розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів

конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття. Удосконалено технологію приготування ґрунтових, ґрунтово-піщаних, щебенево-піщаних та щебених сумішей, оброблених мінеральним, органічним або комплексним в'язучим. Запропоновано заходи з контролювання властивостей асфальтобетонної суміші при її виготовленні, транспортуванні, укладанні та ущільненні, з метою підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

4. Розроблено типові конструкції нежорсткого дорожнього одягу підвищеної довговічності з урахуванням різних категорій автомобільних доріг та кліматичних умов.

5. Розроблені і впровадженні практичні рекомендації та методика розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, що дозволило отримати економічний ефект.

6. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 7 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України.

7. Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [6, 11, 27, 65, 119, 155, 163, 167, 184].

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нові вирішення наукових та практичних задач. У дисертаційній роботі удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії та враховано комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону, вертикального тиску на покриття пневматичних коліс транспортних засобів та часу їх дії на конструкцію; інтенсивності прикладання вертикальних навантажень; ці положення були підтверджені експериментальним дослідженням, в тому числі з врахуванням укріплення шарів основи дорожнього одягу.

Результати дисертаційних досліджень дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є:

1. Із аналізу відомих літературних даних та досліджень стосовно нежорсткого дорожнього одягу встановлено:

- асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг перебуває у складних умовах експлуатації, що підтверджується інтенсивним зростанням дефектів у вигляді колії (понад 60% пластичних деформацій із загальної кількості дефектів), у зв'язку з ростом параметрів транспортних навантажень та високих літніх температур;

- в існуючих наукових розробках не достатньо вивчено: комплексний вплив термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону з врахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних, транспортних факторів; існуючі методи оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та укріплення шарів основи, а також фактичних режимів навантаження великовагових транспортних засобів за різних температурних умов; існуючі експериментальні дослідження не достатньо відображають фактичні умови роботи покриття; не в повній мірі вивчено стійкість

асфальтобетонного покриття до утворення колії при комбінованому застосуванні різних практичних заходів.

2. Встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє прогнозувати глибину утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах та включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури. Удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, від дії вертикальних навантажень транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; укріплення ґрунтів; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантаження.

3. На основі експериментальних результатів:

- досліджено властивості асфальтобетону та укріплених ґрунтів, а саме: фізико-механічні властивості; розрахункові параметри термов'язкопружнопластичних властивостей (функція деформації, функція релаксації, функція пластичності), міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; характеристики утворення колії;

- одержані порівняльні результати випробувань асфальтобетонів типу А, Б (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-20), з яких випливає, що мінімальне значення глибини колії при температурі +50 °С становить 3,5 мм для ЩМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів.

- на підставі натурних та стендових досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-

структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, перевірина адекватність теоретичних положень, підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними.

– на основі чисельного аналізу встановлено і доведено можливість підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером (при їх кількості до 5 %); укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу.

4. Розроблено практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, що дозволило отримати економічний ефект. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 7 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>
2. Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. Розпорядження Кабінету міністрів України від 21 березня 2018 р. № 382. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%D0%BF>
3. Гамеляк І. П. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення / Гамеляк І. П., Райковський В.Ф. // Автомобільні дороги. К., – 2014 – Вип. 1. (237) – С. 24 – 28.
4. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. – Київ – 2012 – № 5 – С. 25 – 30.
5. Богуславский А. М., Богуславский Л. А. Основы реологии асфальтобетона. – М. : Высшая школа, 1972. – 200 с.
6. Гаркуша Н. В. Методы повышения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В. // *Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. Материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»* – Минск – 2012. – С. 144 – 150.

7. П-Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2010. 168 с.
8. Онищенко А. М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах Дис. докт. техн.. наук: 05.22.11 – К., 2017. – 343 с.
9. Онищенко А. Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожних мостов и способы повышения колеестойкости // Дорожная техника. 2013. С. 134 – 144.
10. Гаркуша М. В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів»*. Х. : ХНАДУ. – 2012. – С. 88 – 94.
11. Гаркуша М.В. Підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу/ Гаркуша М.В. // *Дороги і мости: Збірник наукових праць*. – К. : ДП «ДерждорНДІ», 2017. – Випуск 17. – С. 27 – 41.
12. NRC CNRC. Rut Mitigation Techniques at Intersections. Road and Sidewalks, Federation of Canadian Municipalities and National Research Council, Canada. 2003. 48 p.
13. Радовский Б. С. Концепция вечных дорожных одежд / Б. С. Радовский // *Дорожная техника*. СПб. : Славутич, 2011. – С. 132 – 144.
14. Hussan S. Determining the contribution of different structural layers of asphalt pavement system to rutting using transverse profile analysis / Hussan S., Kamal M., Khan M., Irfan, Hafeez I. // *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 1, No. 6, 2013, pp.174 –180.

15. Радовский Б. С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд / Радовский Б.С. // ООО „Полиграф Консалтинг”, – К. : 2003. – 240 с.
16. Батракова А. Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.11 / ХНАДУ. Харків, 2014. – 397 с.
17. Гезенцвей Л. Б. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцвей, Н.В.Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. Под ред. Л. Б. Гезенцвея. – 2-е изд, перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
18. Негомедзянов А. А. Учет остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа: автореферат. канд. техн. наук. М., СоюздорНИИ, 1990 – 19 с.
19. Самуль В. И. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. пособие для студ. ВУЗов / Самуль В.И. – М. : Высшая школа, 1982. – 264 с.
20. Жданюк В. К. Стійкість асфальтобетонів різних гранулометричних типів до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії / В. К. Жданюк, В. М. Даценко // Автошляховик України. – 2009. – №1 (207). с. 31 – 34
21. Матуа В. П. Исследование напряжённо-деформированного состояния дорожных конструкций с учётом их неупругих свойств и пространственного нагружения: Автореф. дис....докт. техн. наук. – М. :Изд-во МАДИ (ГТУ), 2002.
22. Мевлидинов З.А. Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций при расчёте дорожных одежд нежесткого типа: Автореф. дис....канд. техн. наук. – М. : Изд-во МАДИ (ТУ), 1997.
23. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин: Учеб. пособие для

- студентов машиностроительных спец. ВУЗов / Смирнов Г.А. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.
24. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. – Київ – 2012 – № 5 – С. 25 – 30.
 25. Иванов И. Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / И. Н. Иванов, А. М. Кривиский, М. Б. Корсунский. – М. : Транспорт, 1973. – 328 с.
 26. Гаркуша Н. В. Последовательность проверки. Методы повышения колееустойчивости асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В., Аксенов С. Ю. // Автомобильные дороги. – 2012 – № 7 – С. 80 – 85.
 27. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. № 47 – С. 47 – 53.
 28. Горячев М. Г. Прогнозирование эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд с учётом процесса накопления остаточных деформаций : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.11 / МАДИ. Москва, 2017. 37 с.
 29. Ковалев Я. Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона, Минск. «Высшая школа», 1990, –180 с.
 30. Апестин В. К. Испытания и оценка прочности нежестких дорожных одежд. / Апестин В. К., Шак А. М., Яковлев Ю. М. // М. : Транспорт, 1977. – 102 с.
 31. Лейвак В.А. Исследование параметров, характеризующих прочность нежестких дорожных одежд при их испытаниях динамической нагрузкой. / Лейвак В. А. // Диссертация на соискание учёной степени

- кандидата технических наук. Москва, 1975. – 156 с.
32. Титаренко А. М. Разработка методики ускоренного определения деформативных характеристик дорожных конструкций по очертанию чаши прогиба: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.11/ – Киев, 1992 – 150 с.
 33. Матвиенко Ф. В. Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока : диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.11 /– Воронеж, 2010. – 136 с.
 34. Радовський Б. С. Теоретическіе основи конструювання і расчета нежестких дорожніх одежд на вплив подвижних нагрузок: Дис. докт. техн. наук: 05.23.03. – К., 1982. – 552 с.
 35. Супрун А. С. Расчет напряжений, перемещений и деформаций нежестких дорожных одежд при движении многоосных многоколесных транспортных средств: Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / А. С. Супрун. – К., 1983. – 162 с.
 36. Мирончук С. А. Метод определения устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог к накоплению остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2015. – 188 с.
 37. Кіяшко І. В. Історичний огляд розвитку методів та обладнання з оцінки міцності дорожніх конструкцій. / Кіяшко І. В., Новаковський Д. М., Любченко В. А., Смолянчук Р. В., Мінаков О. С., Олексюк О. І. // Автошляховик України. 2014. № 4. С. 18 – 21.
 38. Гаркуша Н. В. Методы оценки колеестойкости / Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Гаркуша Н.В. // Автомобильные дороги. – 2013. – № 02. – С. 54 – 59.
 39. ВБН В.2.3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу. Вид. офіц. Київ : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор»,

2004. 71 с.

40. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 91 с.
41. Хальяк О.П. Изучение упругих деформаций дорожных одежд. / *Труды ТПИ* //, № 292, Таллин, 1970.
42. Михович С. И. Оценка прочности дорожных конструкций при воздействии повторных нагрузок с учетом реологических свойств материалов. *Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям грунты и одежды автомобильных дорог*. М., Стройиздат, 1964, с. 107 – 112.
43. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л.; пер. с англ. А.А. Шестакова. Под ред. д – ра физ. – мат. наук Б. Е. Победри – М. : Изд - во „Мир”, 1979. – 392 с.
44. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем: Учеб. пособие для втузов / Норенков И.П. – М. : Изд –во „Высшая школа”, 1980. – 311 с.
45. Пискунов В.Г., Вериженко В.Е. Линейные и нелинейные задачи расчета слоистых конструкций. К. : „Будівельник”. – 1986. – С. 176.
46. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б. С. Радовский, А. С. Супрун, И. И. Козаков. – Киев : Будівельник, 1989. – 166 с.
47. Александров А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография / А. С. Александров // – Омск : СибАДИ, 2014. –152 с.
48. Васильев А. П. Предложения по учету остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа / А. П. Васильев, М. С. Коганзон, Ю. М. Яковлев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1997. – №1. – С. 5 – 6.

49. Жустарева Е. В. Влияние плотности связного грунта в рабочем слое земляного полотна на остаточные деформации нежестких дорожных одежд: автореф. ...канд. техн. наук / Е. В. Жустарева. – М. : МАДИ, 2000. – 20 с.
50. Казарновский В. Д. Оценка сдвигоустойчивости связных грунтов в дорожном строительстве. М. : Транспорт, 1985., – 168 с.
51. Каныгина СЮ. Прогнозирование остаточных деформаций дорожных одежд нежесткого типа на земляном полотне из глинистых грунтов: автореф....канд. техн. наук / С. Ю. Каныгина. – М. : Изд-во МАДИ, 1999. – 20 с.
52. Кирюхин Г. Н. Остаточные деформации в асфальтобетонных покрытиях. Наука и техника в дорожной отрасли №3, 1998. с. 14 – 16.
53. Руденский А. В. Реологические свойства битумоминеральных материалов. М. : Высшая школа, 1971. – 131 с.
54. Смирнов А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд: дис...д-ра техн. наук / А. В. Смирнов // – М. : 1991. – 389 с.
55. Матуа В. П. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях / В. П. Матуа, Л. Н. Панасюк. – Ростов-н/Д. : РГСУ, 2001. – 372 с.
56. Мевлиданов З. А. Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций, при расчете дорожных одежд нежесткого типа. Диссертация к.т.н. – М. , МАДИ, 1997. – 192 с.
57. Фадеев В.Б. Влияние остаточных деформаций грунта земляного полотна на колееобразование па проезжей части дорог с нежесткими дорожными одедами: автореф....канд. техн. наук / В. Б. Фадеев. – М.: Изд-во МАДИ, 1999. – 21 с.
58. Лугов С. В. Основные положения методики расчета глубины колеи на дорожных одедах с асфальтобетонным покрытием: автореф. канд.

- техн. наук. / Лугов С. В. // – Москва, 2004. – 25 с.
59. Илиополов С. К., Динамика дорожных конструкций. / Селезнёв М. Г., Углова Е. В. // Монография. Ростов-на-Дону : Ростовский государственный строительный университет, 2002. – 258 с.
 60. Воловик О. О. Підвищення стійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг до утворення колії : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / ХНАДУ. Харків, 2016. – 148 с.
 61. Ильин С. В. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий исходя из условий их эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 : Москва, 2004. – 186 с.
 62. S. S. Volkov, A. S. Vasiliev, S. M. Aizikovich, N. M. Seleznev, and A. V. Leontieva, “Stress-strain state of an elastic soft functionally-graded coating subjected to indentation by a spherical punch,” PNRPU Mechanics Bulletin, no. 4, 2016. pp. 20 – 34.
 63. Лапченко А. С. Реологічні властивості асфальтополімербетонів при динамічному деформуванні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Лапченко А. С. – Харків, 2010. – 19 с.
 64. Батракова А. Г. Розрахунки асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів: монографія / Батракова А. Г., Ряпухін В. М., Нечитайло Н. О. – Х. : ХНАДУ, 2012. – 132 с.
 65. Гаркуша М.В. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю., Білан О.О. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. - № 1. – С. 58 – 65.
 66. Корсунский М. Б. Приближенный метод определения вертикальных перемещений дорожной одежды и распределения давления на

- подстилающий грунт в условиях пространственной задачи. Сб. «Исследование прочности дорожных одежд». М., Автотрансиздат, 1959, с. 261 – 299.
67. Приварников А. К. Влияние вязко-упругих свойств и инерционных сил на поведение дорожной одежды под действием подвижной нагрузки / Приварников А.К., Радовский Б.С. // – Известия Вузов. Строительство и архитектура. 1980, №3, с. 105.
 68. Колтунов М. А. Ползучесть и релаксация. – М. : Высшая школа, 1976. – 278 с.
 69. Barksdale, R.D. “Laboratory Evaluation of Rutting in Base Course Materials,” Proceedings, Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, London, 1972, Vol.1, pp. 161 – 174.
 70. Amirhossein Norouzi. Numerical evaluation of pavement design parameters for the fatigue cracking and rutting performance of asphalt pavements / Amirhossein Norouzi, Dahae Kim, Y. Richard Kim // Volume 49, Issue 9, 2016, pp 3619 – 3634.
 71. Schaperty R.A. A method of viscoelastic stress analysis using elastic solutions. – Journal of the Franklin Inst., 1965, 279, № 4, p. 268 – 289.
 72. Emmanuel O. Ekwulo. Fatigue and rutting strain analysis of flexible pavements designed using CBR methods / Emmanuel O. Ekwulo, Dennis B. Eme // African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 3 (12), 2009, pp. 412 – 421.
 73. Сиденко В. М., Михович С. Г. Эксплуатация автомобильных дорог. – М. : Транспорт, 1976. – 228 с.
 74. Barksdale R.D., Alba J. Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design // Interim Report No. 2 for NCHRP, Transportation Research Board (TRB), NRC, Washington, D.C., 1993
 75. Lizenga, J. On the Prediction of Pavement Rutting in the Shell Pavement Design Method. *2nd European Symposium on Performance of Bituminous*

Materials, Leeds, UK, April 1997.

76. Хархута Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – М. : Транспорт 1975. – 285 с.
77. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах. Отраслевой дорожный методический документ. М., 2002. – 180 с.
78. М-218-03450778-256-2004. Методика випробування покриттів на стійкість проти колієутворення. Вид. офіц. Київ : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. – 20 с.
79. Finn F. The use of distress prediction subsystems for the design of pavement Structures. Proceedings of the 5int Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement. Delft, 1982.
80. Казарновский В. Д. Оценка сдвигоустойчивости связных грунтов в дорожном строительстве. М. Транспорт, 1985. – 168 с.
81. Гшвендт И. Расчет остаточных деформаций гибких покрытий или предварительный расчет колеобразования в асфальтовых покрытиях./ *IV Будапештская дорожная конференция./Научно-транспортное общество Венгрии.* – 1988. – т.2 – с. 174 – 176.
82. S. Erlingsson. Fast layered elastic response program for analysis of flexible pavement structures / S. Erlingsson, A. W. Ahmed // *Road Materials and Pavement Design*, 14/1. 2013, pp. 196 – 210.
83. X. N. Zhang, “Basic methods of digital image technology for material structure of asphalt mixtures,” *Journal of South China University of Technology*, vol. 40, no. 10, 2012, pp. 166 – 173.
84. Hushek S. Evaluation of rutting due to viscous flow in asphalt pavements. *Proceedings of the 4int. Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*. Ann Arbor, 1977.
85. Peres I., Medina L., Gallego J. Plastic deformation behaviour of pavement

- granular materials under low traffic loading // Granular matter – 2010. – Vol. 12. – №1. – pp. 57 – 68.
86. Erlingsson, S. “Mechanistic Pavement Design – A road to better understanding of pavement performance,” *In the proceedings of the International seminar on pavement design systems and pavement performance models*, Reykjavik, 2007 22 – 23 March. 11 pp. 32 – 41.
 87. Kim I. T., Kwon J., Tutumluer E. Rutting of Airport Pavement Granular Layers // In Proceedings of the 2003 ASCE Airfield Pavement Specialty Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 2003.
 88. Peralta P., Achmus M. An Experimental Investigation of Piles in Sand Sub-jected to Cyclic Lateral Loads // Proceedings of the 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Zurich, 2010, pp. 985 – 990.
 89. Perez, I., Medina, L. & Romana, M.G.: Permanent deformation models for a granular material used in road pavements, *Construction and Building Materials*, 2006. pp. 790 – 800.
 90. Wen, H., Wu, M., and Wang, J., Development of Rutting Model for Unbound Aggregates Containing Recycled Asphalt Pavement,"*Geotechnical Testing Journal*, Vol. 36, No. 2, 2013, pp. 236 – 241.
 91. Jian-Shiuh CHEN.Mechanical Responses and Modeling of Rutting in Flexible Pavements. / Jian-Shiuh CHEN, Yen-Jui CHANG, Chien-Chung HUANG // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2009. p. 16.
 92. Development of a New Mechanistic Empirical Rutting Model for Unbound Granular Material. / Gu, Fan; Zhang, Yuqing; Drodty, Charles V.; Luo, Rong; Lytton, Robert L.In: *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 28, No. 8, 01.08.2016, pp. 40 – 51.
 93. Zhou, F., S. Im, L. Sun, & T. Scullion.. Development of an IDEAL-CT

- Cracking Test for Asphalt Mix Design and QC/QA. *Journal of Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT)*, 86, 2017. pp. 549 – 578.
94. Mohammad, L. N., M. Kim, & H. Challa. Development of Performance-based Specifications for Louisiana Asphalt Mixtures, Report No. FHWA/LA.14/558. Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, LA. 2016. p. 74.
 95. Lippert, D. L., H. Ozer, I. Al-Qadi, J. F. Meister, G. Renshaw, A. S. M. Tamin Uddin Khan, T. R. Murphy, J. S. Trepanier, & J. W. Vespa. Construction and Performance Monitoring of Various Asphalt Mixes in Illinois: 2015 Interim Report, FHWA-ICT-16-009. Federal Highway Administration, Washington, DC. 2016. p. 67.
 96. Hill, B., B. Behnia, W. B. Buttlar, & H. Reis.. Evaluation of Warm Mix Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement through Mechanical Performance Tests and an Acoustic Emission Approach. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(12), 2013. pp. 1887 – 1897.
 97. Bennert, T., F. Fee, E. Sheehy, R. Blight, & R. Sauber. Implementation of Performance-Based HMA Specialty Mixtures in New Jersey. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 80, 2011, pp. 719 – 758
 98. Aschenbrener, T. Case Histories of Setting the Job Mix Formula with a Balanced Mix Design Compared to a Volumetric Mix Design. Slide from 2016 Presentation of Balanced Mix Design to FHWA Mix ETG. Dartmouth, MA. 2016, p. 112.
 99. Tseng K-H., and Lytton R. L. Prediction of Permanent Deformation in Flexible Pavement Materials, Implication of Aggregates in Design, Construction, and Performance of Flexible Pavements, ASTM STP 1016. H. G. Schrauders and C. R. Marek (eds). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989 pp. 154 – 172.
 100. Hettler A. Verschiebungen starrer und elastischer Griindungskorper in

- Sand bei monotoner und zyklischer Belastung. Pub I. Series of Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe. 1981. N. 90.
101. Long, J. H., Vanneste, G. Effects of cyclic lateral loads on piles in sand. // *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 1994. Vol. 120, No. 1. pp. 225 – 243.
 102. Leng J. Characteristics and Behavior of Geogrid-Reinforced Aggregate under Cyclic Load. // A Dissertation ... for the Degree of Doctor of Philosophy. – 2002. – 152 p.
 103. Brown S.F., Pappin J.W. Analysis of Pavements with Granular Bases. Transportation Research Record 810, TRB, National Research Council, Washington D.C. – 1981. – pp.17 – 23.
 104. Cheung L.W. Laboratory assessment of pavement foundation materials // PhD thesis. University of Nottingham, The United Kingdom. 1994. – pp. 42 – 57.
 105. Kenis W. J. Predictive Design Procedure, VESYS User's Manual: An Interim Design Method for Flexible Pavement Using the VESYS Structural Subsystem. Final Report No. FHWA-RD-77-154, FHWA, Washington D.C., 1978. – 72 p.
 106. Wolff H., Visser A. Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design. // In: *Proceedings of Institution of Civil Engineers Transport* – 1994. – vol. 105. – pp. 259 – 272.
 107. Francken L., Clauwaert C. Characterization and structural assessment of bound materials for flexible road structures // *Proceedings of the 6-th International Conference on Asphalt Pavements. Ann Arbor, Michigan.* 1987. – pp. 130 – 144.
 108. Theyse H. L. The development of mechanistic-empirical permanent deformation design models for unbound pavement materials from laboratory accelerated pavement // *Proceedings of the 5-th International*

- symposium on unbound aggregates in road. Nottingham. 2000.*
pp. 285 – 293.
109. Veverka V. Raming van de Spoordiepte bij Wegen met Cen Bitumineuze Verharding. // De Wegentechniek. – 1979. – vol. 24. – №3 – pp. 25 – 45.
 110. Paute J., Jouve P., Martinez J., Ragneau E. Modele de calcul pour le dimensionnement des chaussees souples // Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussees. – 1988. – № 156. – pp. 21 – 36.
 111. Brecciaroly P., Kolisoja P. Deformation behaviour of railway embankment materials under repeated loading. Literature review. // Finnish Rail Administration, Rail Network Department. Helsinki – 2006. – 201 p.
 112. E1-Mitiny M.R. Material Characterization for Studying Flexible Pavement Behavior in Fatigue and Permanent Deformation // PhD Report, Ohio State University. 1980. – 120 p.
 113. Hornyh. P., Corte. J.-F., Paute, J.-L. Etude des deformations permanentes sous chargements repetes de trois graves non traitees. //Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussees. – 1993. – №184. – pp. 77 – 84.
 114. Huurman M. Permanent deformation in concrete block pavements // PhD Thesis. Delft University of Technology, The Netherlands. 1997. – 164 p.
 115. СОУ 45.2-00018112-062:2010. Конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг. Методи випробування на кільцевому стенді. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2010. – 32 с.
 116. Гаркуша М.В. Аналіз результатів випробування дорожнього одягу різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами / Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю., Білан О.О. // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг»*. Харків., ХНАДУ– 2013. – С. 154 – 159.
 117. Павлюк Д. О. Спосіб оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій / Павлюк Д. О., Шуляк І. С. // *Збірник наукових праць*.

- Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Полтава, 2016. Вип. 2 (47). С. 246 – 257.
118. Концепція реконструкції та модернізації кільцевого випробувального стенду. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2015. – 70 с.
 119. Гаркуша М.В. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП / Мозговий В. В., Онищенко А.М., Білан О.О.// Дороги і мости. – 2011 – Вип. 13 – С. 76 – 89.
 120. Гаркуша М.В. Експериментальний аналіз впливу мікрОВОЛОКОН на підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття випробуваного на кільцевому стенді / Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю., Білан О.О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. - № 88. – С. 89-100.
 121. ДСТУ EN 12697-22:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність (EN 12697-22:2003+A1:2007, IDT) Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2018. – 32 с.
 122. СОУ 45.2-00018112-020:2007. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2008. – 13 с.
 123. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу. *LXXIII Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2017. – С. 43.
 124. Онищенко А. М. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Різніченко О. С., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Вісник Донбаської національної академії

- будівництва і архітектури. – 2013. – № 1. – С. 58 – 65.
125. Р В.2.3 218 21476215-795:2011. Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 33 с.
 126. Мозговий В. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. 2012. № 5. С. 25 – 30.
 127. Свідоцтво серія № 78942 Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. СОУ 45.2-00018112-020:2009. Проект» / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Різніченко О.С., Гаркуша М.В., Лещук О.М., Тюленєв Є.І., Плазій Є.П. Дата реєстрації 10.05.2018 р.
 128. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий : дис... докт. техн. наук : 05.22.11. – К., 1996 – 406 с.
 129. Смирнов А. В. Механика устойчивости и разрушений дорожных конструкций / Смирнов А.В., Малышев А.А., Агалаков Ю.А. // СибАДИ, Омск, 1997. – 92 с.
 130. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог / А.П. Васильев. // М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
 131. Васильев А.П. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах / Васильев А. П., Яковлев Ю. М. // Росавтодор Москва 2009. – 179 с.
 132. Илиополов С. К. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств / Илиополов С. К., Углова Е. В. // Обзорная информация.

- Автомобильные дороги и мосты. – 2007. – Вып. 4. – 84 с.
133. Р В.3.1-218-21476215-798:2011. Рекомендації щодо аналізу інформації за результатами моніторингу стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг у тому числі для СУСП. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 28 с.
 134. Золотарь И.А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств / И. А. Золотарь. – Санкт-Петербург: Изд-во «ВАТТ», 1999. – 31 с.
 135. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2014. – 32 с.
 136. ДСТУ Б В.2.7-313:2016 Бітуми дорожні, модифіковані комплексами добавок. Технічні умови. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2016. – 44 с.
 137. ДСТУ-Н Б В.2.7-254:2012 Приготування та застосування дорожніх бітумів, модифікованих адгезійними добавками на основі катіонних поверхнево-активних речовин. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2012. – 28 с.
 138. Онищенко А М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2008. – С. 157.
 139. Гаркуша М.В. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В., Невінгловський В.Ф., Білан О.О. // Вісник НТУ – 2012. - № 26. – С. 79 – 84.
 140. Стьожка В.В. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття шляхом використання нових конструктивних рішень, матеріалів і технологічних прийомів / Стьожка В.В. // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific

- Journal) #9(37), 2018. – P. 33 – 35. ISSN: 2468-5381
141. Невінгловський В.Ф. Метод розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Невінгловський В.Ф. – К., 2015. –168 с.
 142. Аксьонов С.Ю. Метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах: дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Аксьонов С.Ю. – К., 2016. –168 с.
 143. Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования свойств. – Дис. ... д-ра техн. наук. – 05.23.05. – М., 1983. – 575 с.
 144. СОУ 45.2-00018112-067:2011 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 28 с.
 145. ДСТУ Б В.2.7-119:2011.Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 37 с
 146. ДСТУ Б В.2.7-127:2015. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2015. – 28 с
 147. СОУ 45.2-00018112-057:2010. Будівельні матеріали. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2010. – 21 с.
 148. Р В.2.7-218-02071168-784:2011. Рекомендації по вибору армуючих матеріалів для підвищення стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 36 с.
 149. Савенко В.Я. Застосування геотекстилів в дорожньому будівництві / Савенко В. Я., Петрович В. В. // Автошляховик України. – 1998. – № 1. – С. 35–37.
 150. Р В.2.7-218-21476215-796:2011 Рекомендації щодо застосування

- асфальтобетонних сумішей з армуючими мікрОВОлокнами. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 41 с.
151. Гаркуша Н.В. Влияние микроволокон на повышение трещиностойкости и колеестойкости асфальтобетонного покрытия при стендовых испытаниях / Онищенко А.Н., Гаркуша Н.В., Аксенов С.Ю. // Инновации и исследования в транспортном комплексе. – 2013. – С. 106 – 111.
 152. Онищенко А.М. Експериментальний аналіз впливу мікро волокон на підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття випробуваного на кільцевому стенді / Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю., Білан О.О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – № 88. – С. 89 – 100.
 153. ГБН В.2.3-37641918-554:2013 Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2013. – 43 с.
 154. Гаркуша М. В. Методи стабілізації та укріплення ґрунту / Онищенко А. М., Гаркуша М. В. // Дороги і мости. – 2010. – Вип. 12 – С. 145-149.
 155. Гаркуша М.В. Вплив укріплення ґрунтів на підвищення довговічності конструкції дорожнього одягу та зменшення коліє утворення на автомобільних дорогах України / Гаркуша М.В.// *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету.* – Харків: ХНАДУ, 2010. – С.84 – 87.
 156. Панасюк Я. І. Удосконалення технології укріплення ґрунтів цементом для будівництва автомобільних доріг. – Дисертація канд. техн. наук: 05.22.11, Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Х., 2013. – 180 с.

157. Малеванский Г.В. Исследование методов проектирования некоторых типов нежестких дорожных одежд с учетом усталости материалов : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук / Малеванский Г.В. – К., 1974. – 24 с.
158. Ряпухін В. М. Вплив дискретності шарів дорожнього одягу на міцність ґрунтової основи / Ряпухін В. М., Павленко Н. В. // Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник, Київ КНУБА, 2011. – Випуск 40. В 2ч. Ч.2. – С. 264 – 269.
159. Федулов А.А. Применение поверхностно-активных веществ (стабилизаторов) для улучшения свойств связных грунтов в условиях дорожного строительства. – дис....канд. техн. наук : 05.23.11 / Федулов Андрей Александрович, МАДГТУ(МАДИ). – М., 2005. – 165 с.
160. Безрук В. М. Технология и механизация укрепления грунтов в дорожном строительстве. / Безрук В. М., Левицкий Е. Ф., Ястребова Л. Н., Либерман М. А., Исаев В. С., Глухман Л. И., // М. : 1976. – 232 с.
162. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Лапченко А. С. Методика розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням укріплення основи // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 93. С. 67 – 78.
163. Garkusha M.V. Prediction and assessment of residual strain of asphalt concrete pavement using finite element method / Onishchenko A.M., Leshchuk O.M. // International scientific and practical conference "World science". 2018. № 4 (20), Vol.2. P. 32 – 35. ISSN 2413-1032.
164. ВБН Г.1-218-050-2001. Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування. Зміна № 1. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2001. – 118 с.
165. Гаркуша М. В. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних

- шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С. Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – № 90. – С. 57 – 65.
166. Гаркуша М. В. Метод розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг / Онищенко А. М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 58. – С. 288 – 294.
 167. Гаркуша М. В. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / Онищенко А. М., Худолій С. М., Лещук О. М. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). – С. 309 – 319
 168. Шестопалов А. А. Интенсификация процесса уплотнения асфальтобетонных смесей укаткой с вакуумированием : дис... доктора. техн. наук : 05.23.14 / Шестопалов А.А. – Ленинград., 1988. – 395 с.
 169. Грушко И.М. Основы научных исследований / Грушко И.М., Сиденко В. М.// М. : – 1983. – С. 221.
 170. Шведков Е. Л. Элементарная математическая статистика в экспериментальных задачах материаловедения / Шведков Е. Л. // – К.: Наукова думка. – 1975. – С. 112.
 171. Гладун С. А., Гончаренко Ф. П. Обґрунтування кількості вимірювань для достовірної оцінки міцності дорожнього одягу. Автошляховик України. 2015. № 1 – 2. С. 42 – 45.
 172. ДСТУ Б В.2.7-319-2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 71 с.
 173. СОУ 45.2-00018112-042:2009. Автомобільні дороги. Визначення

- транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2009. 45 с.
174. Р А.2.1-218-05416892-675:2007. Рекомендації з обстеження конструкцій існуючих дорожніх одягів автомобільних доріг. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2007. 28 с.
 175. Свідоцтво серія № 48068 Науковий твір. Методика визначення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів конструкції дорожнього одягу з використанням доменних шлаків в шарах основи / Мозговий В.В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Гаркуша М. В., Аксьонов С.Ю. Дата реєстрації 26.02.2013 р.
 176. Гаркуша М. В. Використання нових нормативних документів для визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2013. – Вип. 49. – Ч. 1. – С. 245 – 251.
 177. М:218-02071168-681:2011 Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 28 с.
 178. СОУ 42.1-37641918-099:2013. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2013. – 12 с.
 179. СОУ 45.2–00018112–059:2010. Методи визначення розрахункових модулів пружності. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2010. – 20 с.
 180. СОУ 45.2–00018112–046:2009. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2009. – 21 с.
 181. Довідник № 2 Розрахункових характеристик асфальтобетоні. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2018. – 84 с.
 182. Р В.2.3-21476215-863:2015 Рекомендації з проектування дорожнього

- одягу автомобільних доріг загального користування. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2015. – 30 с.
183. Мерзликин А.Е. Моделирование упругого однородного и двухслойного полупространства применительно к задачам по расчету дорожных одежд методом конечных элементов / А.Е. Мерзликин, Н.В. Капустников // Дороги и мосты. Омск: СибАДИ, 2011. – № 1(25). – С. 63 – 72.
 184. Гаркуша М. В. Аналіз застосування холодних асфальтобетонів підвищеної колієстійкості для аварійного ремонту в екстремальних погодніх умовах / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – № 91. – С. 52 – 75.
 185. СОУ 42.1-37641918-065:2013. Норми фінансових витрат на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування та мостів на них. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2013. – 62 с.
 186. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013. Правила визначення вартості будівництва. Зміна № 2. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 86 с.
 187. СОУ 42.1-37641918-035:2018. Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2018. – 74 с.
 188. А Д 2.4-37641918-007:2018. Альбом типових конструкцій дорожнього одягу з шарами підсилення підвищеної тріщиностійкості та колієстійкості. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2011. – 79 с.