

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

ХАРІН ПАВЛО ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 625.7:678

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ГЕОГРАТКАМИ
ПОЛІМЕРНИМИ ЖОРСТКИМИ БАГАТОВІСНООРІЄНТОВАНИМИ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України м. Києва.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Усиченко Олена Юріївна,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Київ,
професор кафедри транспортного
будівництва та управління майном

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузло Микола Трохимович,
Національний університет водного
господарства та природокористування
Міністерства освіти і науки України, м. Рівне,
завідувач кафедри автомобільних доріг,
основ і фундаментів

кандидат технічних наук, доцент
Дубик Олександр Миколайович,
Державний університет
«Київській авіаційний інститут»
Міністерства освіти і науки України, м. Київ,
завідувач кафедри інфраструктури авіаційного
транспорту

Захист відбудеться « 16 » вересня 2025 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 17.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42.

Автореферат розісланий « 15 » серпня 2025 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради,
доктор економічних наук, професор

Олена ЛОЖАЧЕВСЬКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Підтвердженням актуальності досліджень слугує аналіз передчасних руйнувань дорожніх одягів автомобільних доріг. Найбільших ушкоджень зазнають ділянки з основами із незв'язних та слабозв'язних матеріалів, які в процесі експлуатації втрачають здатність ефективно розподіляти навантаження від коліс транспортних засобів. Накопичення залишкових деформацій, формування колійності, поява локальних просідань призводять до суттєвого зниження рівності та довговічності покриття.

Дорожня конструкція є складною інженерною системою, працездатність якої визначається не лише міцністю та зносостійкістю шарів покриття, але й стабільністю та несною здатністю шарів основи дорожнього одягу. Такі шари з інертних матеріалів забезпечують загальну міцність дорожньої конструкції та слугують для перерозподілу навантажень від транспортних засобів та зниження тисків до значень, що не перевищують межу міцності ґрунту основи дорожнього одягу. Разом з тим міцнісні характеристики таких матеріалів можуть значно знижуватись при зміні волого-теплогового режиму, особливо в післязимовий період. Дія зовнішніх навантажень, власної ваги шарів дорожнього одягу та втрата міцності при перезволоженні призводить до інтенсивного накопичення пластичних деформацій. Це є однією з основних причин скорочення терміну служби дорожніх конструкцій по відношенню до проєктного.

Одним із найбільш перспективних напрямів підвищення довговічності основ із інертних матеріалів є їх посилення жорсткими багатовісноорієнтованими полімерними геогратками. Таке посилення сприяє стабілізації щебеневого шару, обмеженню деформацій, перерозподілу напружень у ґрунтовій основі та зростанню еквівалентного модуля пружності дорожньої конструкції в цілому. Для достовірної оцінки напружено-деформованого стану та прогнозування довговічності дорожніх одягів у реальних експлуатаційних умовах важливим питанням залишається урахування ефекту посилення основ дорожніх одягів геосинтетичними матеріалами.

Отже, удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить підвищити надійність дорожніх конструкцій як елементів транспортної інфраструктури країни.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрою транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету:

- «Розроблення сучасних методів проєктування, будівництва та експлуатації дорожніх конструкцій, транспортних споруд та інженерних мереж земляного полотна» № державної реєстрації 0114U006496, 2017 р.;
- «Удосконалення системи управління станом автомобільних доріг та методів їх оцінки», № державної реєстрації 0116U002491, 2018- 2019 рр.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із незв'язними або слабозв'язними шарами які стабілізовані геогратками полімерними жорсткими

багатовісноорієнтованими, шляхом врахування коефіцієнта посилення, що визначений на основі фізичного моделювання.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі завдання:

- проаналізувати результати попередніх досліджень, присвячених застосуванню жорстких багатовісноорієнтованих геограток у конструкціях нежорстких дорожніх одягів, узагальнити наукові підходи до опису їх взаємодії з інертними матеріалами шарів основи дорожнього одягу та виявити чинники, що визначають ефективність застосування геосинтетичних матеріалів у якості елементів посилення та стабілізації;
- дослідити експериментально механізм стабілізації дорожніх конструкцій, встановити вплив жорстких багатовісноорієнтованих геограток на деформаційні характеристики, визначити зміну еквівалентного модуля пружності та несної здатності ґрунту залежно від типу геогратки, різновиду підстильного ґрунту та глибини її закладання, оцінити ефективність розподілу напружень у ґрунтовій основі;
- розробити на основі результатів фізичного моделювання математичну модель стабілізації дорожньої конструкції з урахуванням впливу жорстких багатовісноорієнтованих геограток на напружено-деформований стан основи; визначити за допомогою кореляційно-регресійного аналізу коефіцієнт посилення, установити аналітичну залежність для розрахунку еквівалентного модуля пружності та сформулювати критерії міцності дорожніх конструкцій;
- запропонувати удосконалену методику розрахунку дорожніх одягів із урахуванням коефіцієнта посилення, обґрунтувати її застосування в новому будівництві та при підсиленні існуючих конструкцій, оцінити економічну доцільність впровадження розробленої методики на основі порівняння з традиційними проектними рішеннями.

Об’єкт дослідження – процеси стабілізації шарів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг за рахунок ефекту посилення, що забезпечується застосуванням жорстких багатовісноорієнтованих геограток.

Предмет дослідження – параметри, що визначають ефект стабілізації незв’язних шарів конструкцій нежорстких дорожніх одягів із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими.

Методи дослідження: натурні експериментальні дослідження, планування експерименту, математично-статистичний метод, математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше проведено комплекс натурних експериментальних досліджень поведінки нежорстких дорожніх одягів, посилених геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими, з метою встановлення впливу стабілізуючих елементів на напружено-деформований стан дорожньої конструкції;
- вперше отримано регресійні залежності для визначення коефіцієнта посилення незв’язних шарів дорожнього одягу, стабілізованих геогратками, на основі результатів експериментальних випробувань;

– встановлено закономірності впливу елементів посилення на несну здатність дорожніх конструкцій залежно від міцнісних характеристик ґрунтів основи та товщини щебеневого шару;

– удосконалено розрахункову схему конструкцій дорожнього одягу, стабілізованих геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими, шляхом урахування специфіки роботи елементів посилення;

– розроблено метод розрахунку конструкцій нежорстких дорожніх одягів за критерієм допустимого пружного прогину на основі математичної моделі, що враховує ефект посилення геосинтетичними матеріалами.

Практичне значення отриманих результатів: полягає в тому, що на основі розробленого методу запропоновано методику розрахунку незв'язних шарів посилення геогратками, яка дозволяє оптимізувати їхню товщину, підвищити несну здатність основи, зменшити витрати на будівництво та ремонтно-відновлювальні роботи, а також забезпечити довговічність і надійність автомобільних доріг. Застосування запропонованої методики у проєктній практиці сприятиме підвищенню якості інженерних рішень, можливості використання сучасних матеріалів і технологій, адаптації до різних ґрунтово-кліматичних умов.

Результати досліджень були впроваджені при розробленні нормативних документів для стандартизації використання геограток у дорожньому будівництві: СОУ 42.1-21483639 – 004:2017 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані «TENSAR TX» Методи проєктування дорожніх одягів та штучних основ з георешітками; ТУ У В.2.7-17.5-21483639-003:2016 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані «TENSAR TX» Технічні умови; ТУ У 17.5-21483639-009:2023 Георешітки (геогратки) полімерні жорсткі композитні багатовісноорієнтовані гексагональні. Технічні умови.

Результати дисертаційної роботи були використані в навчально-методичних комплексах дисциплін: «Технологія будівництва земляного полотна автомобільних доріг» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Механіка земляного полотна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійні програми «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів», а також як теоретико-науковий базис під час підготовки кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійні програми «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях: [1, 2, 3] – виконаний науковий аналіз сучасного стану застосування геосинтетичних матеріалів у транспортному будівництві, в межах якого систематизовано різновиди геосинтетичних матеріалів, визначено їх основні фізико-механічні характеристики, особливості технології виробництва та обґрунтовано сфери раціонального використання. Здійснено критичний огляд і порівняльний аналіз наявних підходів розрахунку будівельних конструкцій із використанням геосинтетичних матеріалів, визначено їх переваги, обмеження та можливості подальшого вдосконалення; [4] – досліджено механізм посилення основ дорожніх одягів геогратками; [5, 6] – досліджено вплив геогратки,

влаштованої в основі незв'язного шару конструкції дорожнього одягу, розраховано значення коефіцієнту посилення; [7] – запропонована математична модель посиленої конструкції нежорсткого дорожнього одягу із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичних моделей, які перевірені на адекватність; достатнім обсягом експериментальних даних, що отримані з використанням сучасного лабораторного обладнання; апробацією результатів роботи під час виробничого впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені на: всеукраїнській науково – практичній конференції «Застосування новітніх технологій та матеріалів у транспортній інфраструктурі України», місце проведення ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна» 2015 року, м. Київ; міжнародній науково-технічній конференції «Інтертранспорт – гідротехнічне і транспортне будівництво», 2015 – 2019 рр., м. Одеса; науково практичній конференції «Проектування та будівництво об'єктів транспортної інфраструктури із застосуванням нових технологій», місце проведення ДП «Укрдіпродор» 2015 р., м. Київ; міжнародному форумі з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг і мостів «Автодорекспо» 2016 – 2021 рр., м. Київ; щорічній науково практичній конференції «Новітні технології в автодорожній галузі», місце проведення «Автомагістраль – Південь», 2017 – 2021 рр., м. Одеса; конференції Львівської політехніки «Архітектура, будівництво, транспорт», 2017 р., м. Львів; науково-практичному семінарі «Актуальні питання проектування автомобільних доріг загального користування», 2019 р., м. Запоріжжя; міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво», 2023 р., м. Одеса; II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сталий розвиток інфраструктури авіаційного транспорту: проблеми утримання та відновлення», 2025 р., м. Київ.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 9 наукових праць, у тому числі: 7 праць у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 1 стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях, 1 стаття додатково відображає наукові результати дисертації у зарубіжному виданні в рамках матеріалів конференції, що входить до наукометричної бази WoS.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 130 найменувань та п'ять додатків. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки. Основний текст викладений на 131 сторінці. Текст ілюструється 45 рисунками і містить 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику та обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, сформульовані мета та завдання дослідження. Визначена наукова новизна роботи, наведені основні наукові результати, обґрунтовано практичне значення отриманих результатів та напрями їх впровадження у виробництво.

У першому розділі здійснено аналіз існуючих підходів до вирішення проблеми вітчизняного та закордонного досвіду проведення експериментальних досліджень щодо посилення дорожніх конструкцій геосинтетичними матеріалами та принципів розрахунків конструкцій дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів.

Значний внесок у цю область досліджень зроблено: Радовським Б.С., Мозговим В.В., Гамеляком І.П., Павлюком Д. О., Ряпухіним В.М., Батраковою А.Г., Савенком В.Я, Усиченко О.Ю., Головком С.К., Павленко Н.В., Дубиком О.М, Шумінським В.Д., Лісом Е., Маньян Ж., Коллінзом С., Гіроудом Д., Джарретом П. та ін.

Найбільш ефективні та апробовані методи знаходять відображення у нормативно-технічних документах з проєктування автомобільних доріг. У сучасних нормативних документах наводяться розрахункові схеми конструкцій дорожнього одягу із геосинтетичними матеріалами які поступово вдосконалюються.

Разом з тим існуюча теоретична і нормативна база з проєктування конструкцій дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів в якості посилення незв'язних шарів основ потребує подальшого вдосконалення. В діючих нормативних документах на проєктування і влаштування не достатньо інформації для прийняття технічних рішень інженерами-проєктантами.

Проведений аналіз підтвердив актуальність застосування геограток у транспортній інфраструктурі. Існуюча нормативно-технічна база потребує доопрацювання з урахуванням властивостей сучасних матеріалів і результатів експериментальних досліджень. Наявні методики не повною мірою забезпечують ефективність проєктних рішень, що обумовлює необхідність подальшого розвитку методів розрахунку. Інтеграція полімерних жорстких багатовісноорієнтованих геограток у конструкціях нежорсткого дорожнього одягу дозволяє ефективно оптимізувати товщину шарів засипки без втрати міцності всієї конструкції. Такий підхід сприяє зниженню загальної собівартості будівництва автомобільних доріг за рахунок економії матеріалів і ресурсів. При цьому конструкція зберігає відповідність вимогам чинної нормативної документації щодо фізико-механічних характеристик дорожнього одягу.

У другому розділі викладено результати експериментальних досліджень роботи конструкцій нежорсткого дорожнього одягу, підсилених геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими, при дії статичних штампових навантажень. Виконання досліджень проводилось для встановлення якісної та кількісної картини роботи конструкції дорожнього одягу в умовах дії штампових навантажень, а також оцінки ефективності посилення незв'язних шарів нежорстких дорожніх одягів геограткою багатовісноорієнтованою. Для виконання поставлених завдань було обрано метод натурних штампових випробувань, що дозволило дослідити роботу дорожнього одягу нежорсткого типу під дією статичних навантажень. Такий метод дозволяє отримати об'єктивні дані про фактичні деформаційні параметри та несну здатність конструкції дорожнього одягу в натурних умовах.

Натурні експериментальні дослідження вимірювання модуля пружності конструкцій дорожніх одягів виконувалися на таких об'єктах:

1. Автомобільна дорога державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський, км 231 – км 232 Полтавська область (нове будівництво, обхід с. Ковтуни).

2. Автомобільна дорога державного значення М-22 Полтава – Олександрія, км 57 – км 58 Полтавська область (капітальний ремонт).

3. Автомобільна дорога державного значення Н-03 Житомир – Чернівці, км 92 – км 93 Чернівецька область (капітальний ремонт).

У ході експериментів досліджувалися конструкції дорожнього одягу з різними варіантами посилення:

- традиційні (не підсиленими) конструкції дорожнього одягу;
- конструкції дорожнього одягу, що посилені різними типами багатовісноорієнтованих геораток ТХ 150, ТХ 160, ТХ 170.

У випробуваннях застосовувався штамп діаметром 300 мм. Товщина щебеневого шару змінювалася від 10 до 30 см. Модуль деформації ґрунтової основи варіювався від 5 до 60 МПа.

Для отримання коефіцієнта посилення в роботі застосовано експериментально-статистичний метод моделювання. Такий підхід дав змогу:

- побудувати графічні залежності осідання плоских штампів від величини прикладеного тиску;
- визначити деформаційні характеристики конструкцій дорожніх одягів, посилених георатками, зокрема еквівалентний модуль пружності ($E_{\text{екв}}$);
- встановити вплив різних марок геораток на зміну величини еквівалентного модуля пружності;
- виявити характер впливу геораток на форму чаші прогину дорожніх одягів;
- обґрунтувати оптимальні міцнісні характеристики геораток з позицій підвищення несної здатності конструкції;
- отримати регресійні рівняння залежностей на основі кореляційно-регресійного аналізу експериментальних даних.

Для вирішення поставлених завдань повний цикл експериментів складався з двох етапів.

Етап №1 Визначення деформативних характеристик посилених і не посилених (традиційних) конструкцій дорожніх одягів.

Для проведення повнофакторного експерименту досліджувалося n -станів конструкції:

$$n = p^k = 3^2 = 9 \text{ експериментів,} \quad (1)$$

де $k = 2$ – кількість факторів;

$p = 3$ – число рівнів.

В серії була прийнята мінімальна кількість експериментів «близнюків» – 3. Таким чином, для проведення однієї серії експериментів ($N^{\text{серії}}$) необхідно:

$$N^{\text{серії}} = n \times 3 = 9 \times 3 = 27 \text{ експериментів,} \quad (2)$$

де n – кількість станів за (1).

Так як у функцію відгуку (Y) входить значення еквівалентного модуля пружності традиційної конструкції, то для того, щоб серію експериментів можна було вважати закінченою, необхідно було провести випробування традиційної конструкції в тих же вихідних станах, що і посиленої, тобто виконати 9 експериментів. Крім того, перед випробуванням конструкцій необхідно було визначити деформативні характеристики ґрунтової основи ($E_{гр}$), тобто провести 3 експерименти. Загальна кількість експериментів (N) в серії була прийнята:

$$N = (N^{серії} + 3) + 9 = 30 + 9 + 39 \text{ експериментів.} \quad (3)$$

У дослідженнях використовувалося 4 типи конструкцій дорожнього одягу, тому загальна кількість становила 129 експериментів.

Для реалізації всіх можливих поєднань рівнів чинників визначена матриця планування експерименту (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту

№ досліджу	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	-	-	+	+	+	Y_1
2	+	0	-	0	0	+	Y_2
3	+	+	-	-	+	+	Y_3
4	+	-	0	0	+	0	Y_4
5	+	0	0	0	0	0	Y_5
6	+	+	0	0	+	0	Y_6
7	+	-	+	-	+	+	Y_7
8	+	0	+	0	0	+	Y_8
9	+	+	+	+	+	+	Y_9
Примітка: X_1 – фактор (відношення модуля деформації ґрунту до модуля пружності посиленого шару – $E_{гр}/E_{до}$); X_2 – фактор (відносна глибина закладення геогратки – $h_{до}/D$); Y – відгук ($K_{пос} = E_{екв.пос} / E_{екв}$ - коефіцієнт збільшення модуля пружності дорожнього одягу).							

При посиленні конструкцій геогратками відбувається значне збільшення еквівалентного модуля пружності в порівнянні з традиційними непосиленими конструкціями. Результати експериментальних досліджень у вигляді графіків залежності осідання штампа від навантаження представлені на рис. 1-3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що приріст тисків на кожному ступені викликає нерівномірно зростаючий приріст осідання. У посиленої конструкції швидкість збільшення осадок значно знижується зі збільшенням тиску, що прикладається. Цей факт свідчить про здатність геогратки ефективно перерозподіляти навантаження від штампа на більшу площу основи, що призводить до зниження напружень у ґрунтовому масиві та запобігає виникненню випору ґрунту.

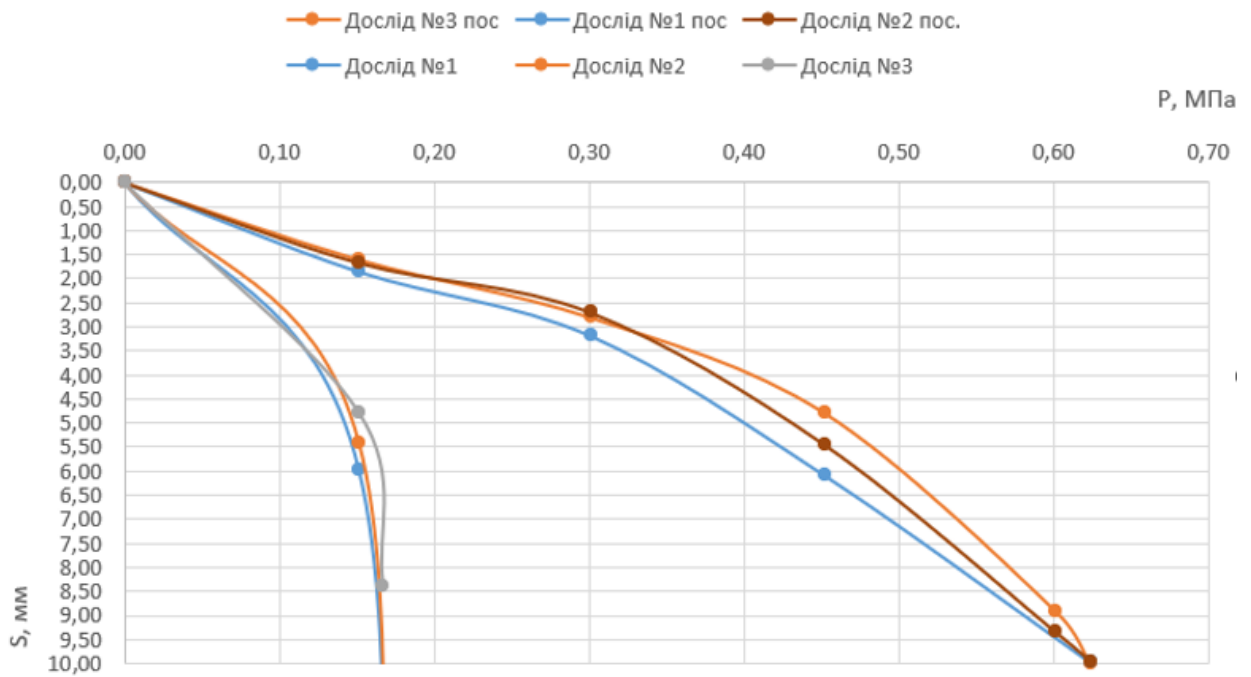


Рисунок 1 – Порівняльний зведений графік випробувань посиленої та непосиленої конструкції: щебінь фракції 20-40 (h-20 см), $E_{гр} = 5$ МПа

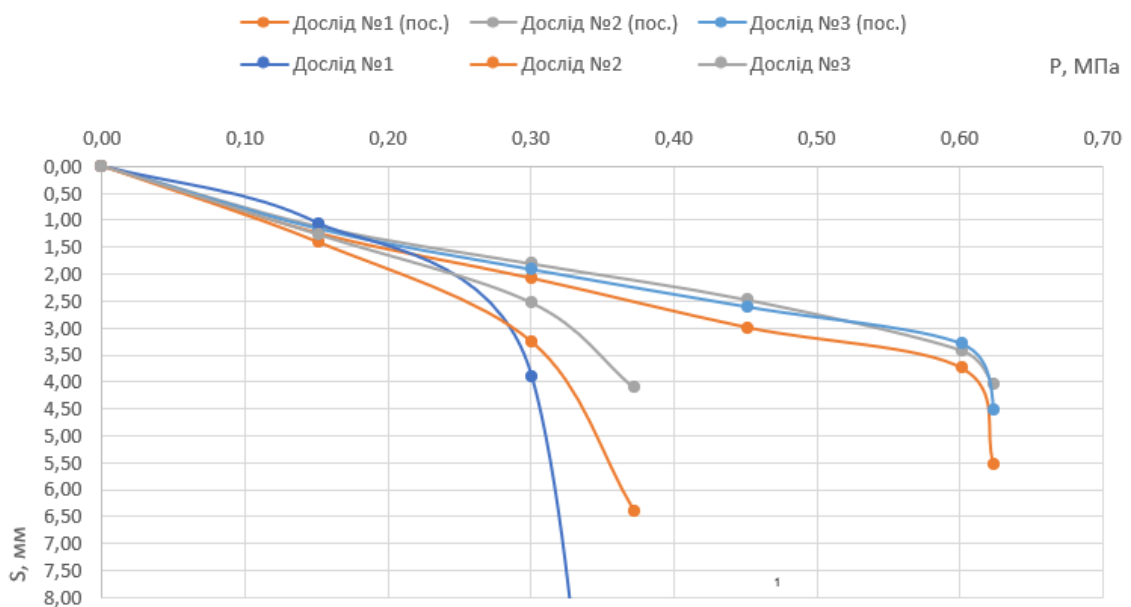


Рисунок 2 – Порівняльний зведений графік випробувань посиленої та непосиленої конструкції: щебінь фракції 20 - 40 (h -20 см), $E_{гр} = 25$ МПа

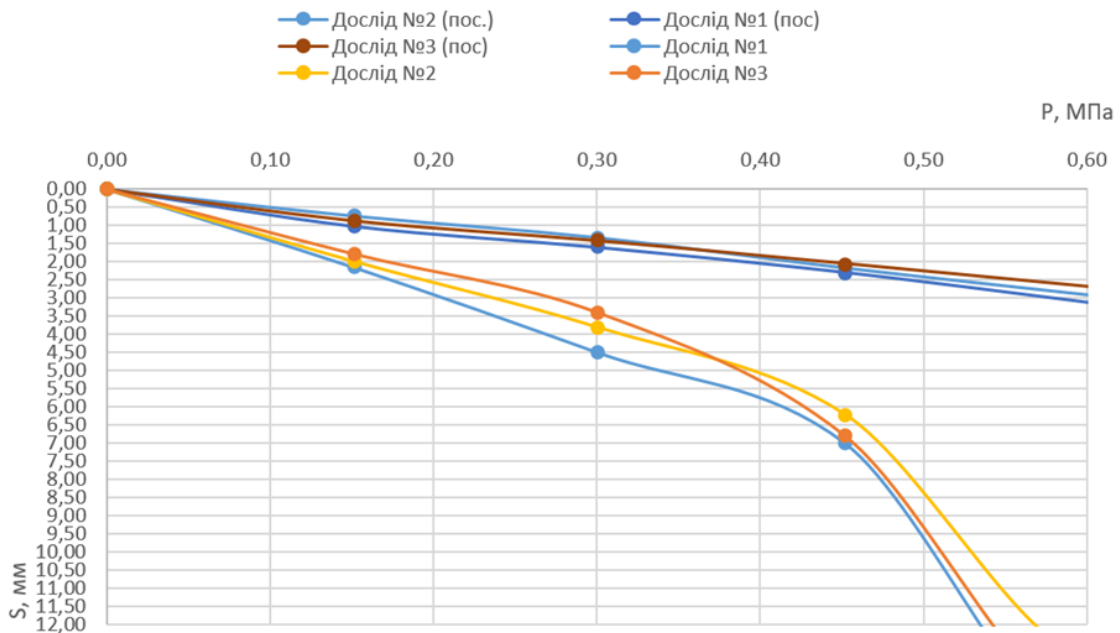


Рисунок 3 – Порівняльний зведений графік випробувань посиленої та непосиленої конструкції: $E_{гр} = 60$ МПа, щебінь фракції 20 - 40 мм ($h = 20$ см)

Посилення щебеневого шару георатками ТХ 150 привело до збільшення еквівалентного модуля пружності цього шару в 1,07 рази (на ґрунтах з $E_{гр} = 60$ МПа), в 1,54 рази (на ґрунтах з $E_{гр} = 25$ МПа) і в 3,5 разів (на ґрунтах з $E_{гр} = 5$ МПа).

На другому етапі дослідження було здійснено виявлення супутніх факторів, які впливають на ефективність посилення конструкцій дорожніх одягів із використанням геораток типів ТХ 150, ТХ 160 та ТХ 170, та було вирішено ряд завдань:

- виявлення впливу геораток на форму чаші прогину дорожніх одягів;
- визначення кутів розподілу тисків від штампа на основу дорожнього одягу; визначення оптимального типу георатки з точки зору підвищення кута розподілу тисків від штампа на ґрунтову основу.

Для виявлення кількісної картини впливу типу георатки на форму чаші прогину, було проведено ряд експериментів.

В експериментах розглядалась конструкція дорожнього одягу в основі якої був піщаний шар на який укладалась георатка та щебеневий шар.

В результаті проведених досліджень встановлено, що форми чаші прогину для аналізованих типів геораток змінюються залежно від їх деформативних і міцнісних характеристик.

Кути розподілу тиску від зовнішнього навантаження в дорожньому одязі (для кожного типу геораток) визначалися при однакових осіданнях.

Для досягнення рівності осідання конструкцій, які посилені різними типами геораток, варіювалося число прикладання навантаження. Навантаження на штамп прикладалося циклічно, із забезпеченням зростання тиску під штампом від 0 МПа до 0,6 МПа. Після навантаження та розвантаження знімався контрольний відлік. Після завершення випробувань конструкцію демонтували, фіксували відбиток на ґрунтовій основі. За формою відбитку визначали параметри чаші прогину та обчислювали кут

розподілу тиску. В експерименті застосовувався штамп діаметром 300 мм, щебінь фракції 20-40 мм, пісок середньої крупності.

На рис. 4-7 наведені форми чаші прогину і кути розподілу тиску випробовуваних конструкцій.

Аналіз експериментальних даних дозволив зробити висновок про те, що включення в конструкцію дорожнього одягу геораток збільшує кут розподілу тиску під штампом на ґрунтову основу. Так, кут розподілу тиску для традиційної конструкції становить 47° , тоді як у конструкції, посиленої геораткою TX 170 він відповідає 55° . Відповідно, відбувається збільшення чаші прогину під штампом з $R=32$ см (у традиційній конструкції) до $R=47$ см (конструкція посилена геораткою TX 170), тобто спостерігається збільшення радіусу чаші прогину більше, ніж у 1,5 рази.

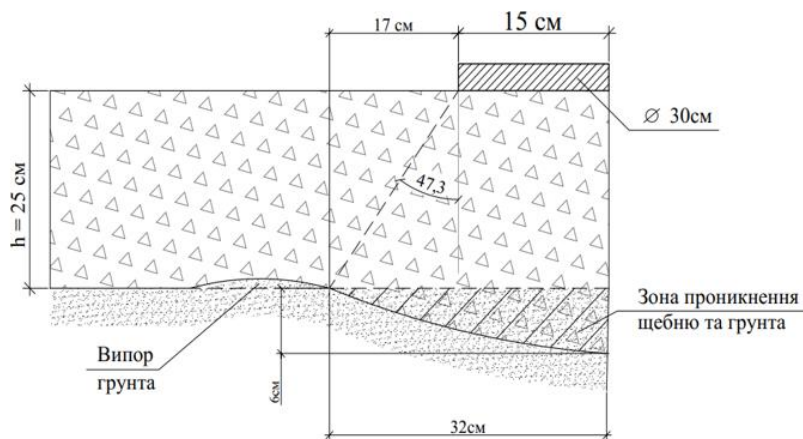


Рисунок 4 – Зона розподілу тиску від штампуга на основу дорожнього одягу (традиційна конструкція)

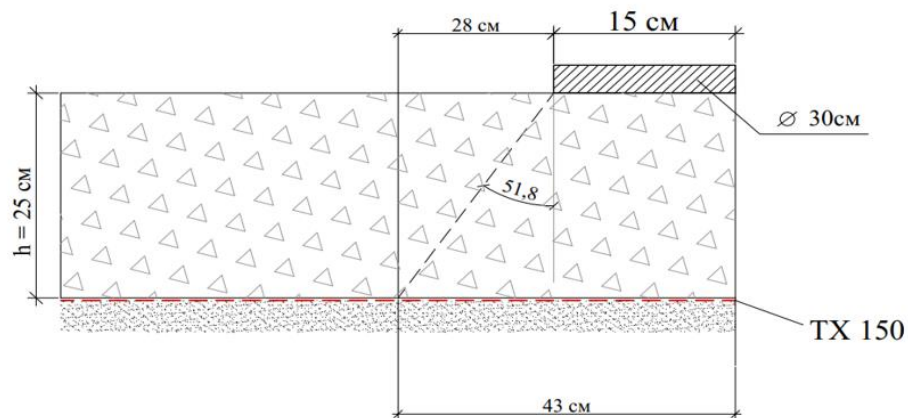


Рисунок 5 – Зона розподілу тиску від штампуга на основу дорожнього одягу (конструкція посилена геораткою TX 150)

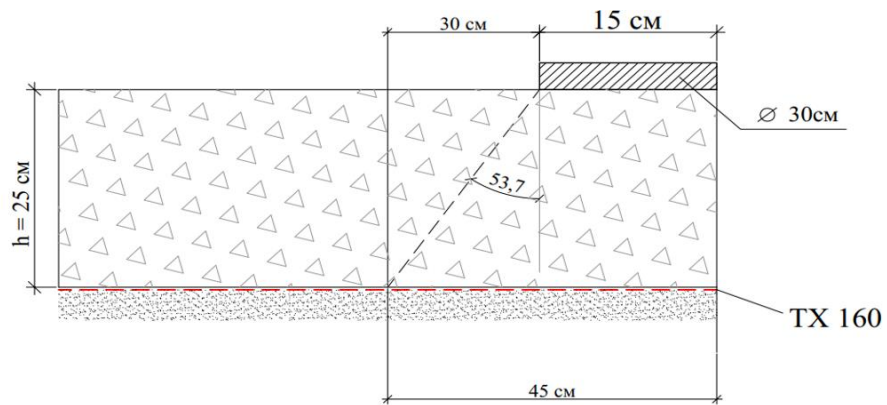


Рисунок 6 – Зона розподілу тиску від штампу на основу дорожнього одягу (конструкція посилена геораткою TX 160)

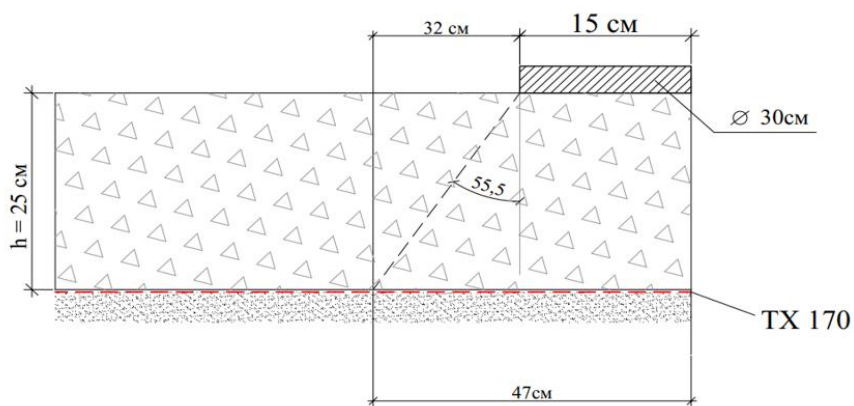


Рисунок 7 – Зона розподілу тиску від штампу на основу дорожнього одягу (конструкція посилена геораткою TX 170)

У третьому розділі розроблена та запропонована математична модель та удосконалена розрахункова схема конструкції дорожнього одягу, що посилена геораткою полімерною жорсткою багатовісноорієнтованою.

При цьому виявлені основні критерії міцності дорожнього одягу:

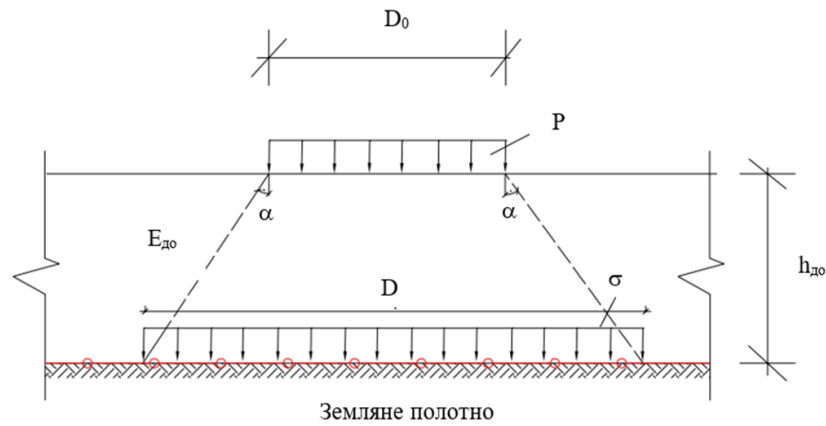
- величина деформації;
- напруження, що передаються на ґрунтову основу.

При дії пневматика автомобіля з тиском на покриття P_0 , дорожній одяг і ґрунт деформуються, причому передбачається, що виникаючі напруги змінюються по глибині відповідно до залежності:

$$\sigma_z = P_0 f(z), \quad (4)$$

де P_0 – питомий тиск при якому зберігається лінійна залежність між тиском і осадкою (без посилення), МПа;

$f(z)$ – деяка функція зменшення вертикальних напружень з глибиною.



D_0 – діаметр відбитка пневматика, см; D – діаметр відбитка пневматика з урахуванням розподільчої здатності на покриття, см; P – тиск на покриття від пневматика, МПа; σ – тиск на поверхні підстиляючого ґрунту, МПа; $h_{до}$ – товщина дорожнього одягу, см; α – кут розподілу тиску; $E_{до}$ – модуль пружності дорожнього одягу, МПа; $E_{гр}$ – модуль деформації ґрунту (земляного полотна), МПа.

Рисунок 8 – Розрахункова схема конструкції дорожнього одягу, що посилена геораткою полімерною жорсткою багатовісноорієнтованою

Стискання шару товщиною dz з модулем пружності E дорівнює

$$dS = \frac{p_0 f(z) dz}{E}, \quad (5)$$

де dS – зміна величини вертикального переміщення мм;

E – модуль пружності шару МПа

Загальна осадка шару щебеню S дорівнює

$$S = \frac{p_0}{E_{до}} \int_0^h f(z) dz + \frac{p_0}{E_{гр}} \int_h^\infty f(z) dz, \quad (6)$$

де h – товщина щебеневого шару дорожнього одягу, см;

S – осідання шару, мм

В результаті обробки експериментів отримано значення функції $f(z)$:

$$f(z) = \frac{1}{1 + a \left(\frac{z}{D_0} \right)^2}, \quad (7)$$

де D_0 – діаметр штампа (діаметр відбитка колеса) м.;

z – глибина розглянутої точки від поверхні дорожнього одягу м.;

a – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних характеристик шарів і умов на їх контакт.

Підставивши в рівняння величину загального осідання дорожнього одягу (5) замість $f(z)$ значення (6) отримаємо вираз для розрахунку величини осідання:

$$S = S_{\text{до}} + S_{\text{гр}} = P_0 \left[\frac{1}{E_{\text{до}}} \int_0^h \frac{dz}{1 + a \frac{z E_{\text{до}}^2}{D_0^2}} + \frac{1}{E_{\text{гр}}} \int_0^\infty \frac{dz}{1 + a \frac{z E_{\text{гр}}^2}{D_0^2}} \right], \quad (8)$$

де $S_{\text{до}}$ – осідання дорожнього одягу, мм;

$S_{\text{гр}}$ – осідання ґрунтової основи, мм;

$z_{E_{\text{до}}}$ – приймаємо рівним $z + h_{\text{до}} (n - 1)$ оскільки деформація шарів покриття становить порівняно незначну частку від загальної деформації дорожньої конструкції, мм;

Після інтегрування і підстановки границь для одношарового одягу маємо:

$$S = \frac{p_0 D_0}{E_{\text{гр}}} \left[\frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{1}{\sqrt[2,5]{\left(\frac{E_{\text{до}}}{E_{\text{гр}}} \right)^{3,5}}} \right) \arctg \left(\frac{h_{\text{до}}}{D_0} \sqrt[2,5]{\frac{E_{\text{до}}}{E_{\text{гр}}}} \right) \right]. \quad (9)$$

Для однорідної системи з модулем пружності $E_{\text{екв}}$ величину S визначаємо, приймаючи $h_{\text{до}} = 0$.

Відповідно, з (9):

$$S = \frac{\pi p_0 D_0}{2 E_{\text{екв}}}, \quad (10)$$

Об'єднанням (8) та (10) отримано аналітичний вираз для визначення еквівалентного модуля пружності щебеневого шару:

$$E_{\text{екв}} = \frac{E_{\text{гр}}}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt[2,5]{\left(\frac{E_{\text{до}}}{E_{\text{гр}}} \right)^{3,5}} \arctg \left(\frac{h_{\text{до}}}{D_0} \sqrt[2,5]{\frac{E_{\text{до}}}{E_{\text{гр}}}} \right)} \right)}, \quad (11)$$

де $E_{\text{екв}}$ – еквівалентний модуль пружності конструкції, МПа

Оскільки протягом розрахункового періоду на дорогу діють навантаження від рухомого складу, це приводить до поступового накопичення пластичних деформацій, приймаємо, що еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу при впливі N автомобілів на добу (або за розрахунковий період) повинен бути більше еквівалентного модуля від одиночного статичного навантаження і дорівнює:

$$E_{\text{екв}N} = E_{\text{екв}} (0,5 + 0,65 \lg \gamma N), \quad (12)$$

де $E_{\text{екв}N}$ – еквівалентний модуль пружності конструкції при N навантаженню, МПа

N – сумарна перспективна інтенсивність руху розрахункового автомобіля в добу по одній смузі авт.добу;

γ – коефіцієнт, що враховує вплив ширини проїзної частини на повторність прикладання навантажень (при двосмуговому русі $\gamma = 1$, при односмуговому русі $\gamma = 2$).

У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що при посиленні конструкцій дорожніх одягів геогратками спостерігається зростання еквівалентного модуля пружності щебеневого шару. Коефіцієнти посилення $K_{\text{пос}}$ для різних типів геограток були визначені на основі аналізу даних натурних штампових випробувань шляхом порівняння величин деформацій (осадок), зафіксованих у посилених і не посилених конструкціях, при однакових навантаженнях. Для різних типів геограток коефіцієнт $K_{\text{пос}}$ дорівнює:

- для геогратки типу Tensar TriAx 150

$$K_{\text{пос}} = 1,59 - 1,075 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} + 0,0772 \times \frac{h_{\text{до}}}{D} + 0,693 \times \left(\frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \right)^2 - 0,0942 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \times \frac{h_{\text{до}}}{D} - 0,201 \times \left(\frac{h_{\text{до}}}{D} \right)^2; \quad (13)$$

- для геогратки типу Tensar TriAx 160

$$K_{\text{пос}} = 1,94 - 1,075 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} + 0,0772 \times \frac{h_{\text{до}}}{D} + 0,693 \times \left(\frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \right)^2 - 0,0942 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \times \frac{h_{\text{до}}}{D} - 0,201 \times \left(\frac{h_{\text{до}}}{D} \right)^2; \quad (14)$$

- для геогратки типу Tensar TriAx 170

$$K_{\text{пос}} = 2,3 - 1,075 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} + 0,0772 \times \frac{h_{\text{до}}}{D} + 0,693 \times \left(\frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \right)^2 - 0,0942 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \times \frac{h_{\text{до}}}{D} - 0,201 \times \left(\frac{h_{\text{до}}}{D} \right)^2 \quad (15)$$

При посиленні несного шару основи геограткою загальний модуль пружності основи слід визначати за залежністю

$$E_{\text{заг.пос}} = \alpha_2 \cdot E_{\text{заг}}, \quad (16)$$

де $E_{\text{заг}}$ – загальний модуль пружності, МПа;

α_2 – коефіцієнт посилення, що визначається за:

$$\alpha_2 = \left[c_0 + c_1 \frac{h_{\text{п}}}{D} + c_2 \frac{h_{\text{осн}}}{D} + d_1 \cdot E_{\text{п}} + d_2 \cdot E_{\text{осн}} + d_3 \cdot E_{\text{гр}} \right]^{-1}, \quad (17)$$

де $h_{\text{п}}$ – загальна товщина монолітних шарів покриття, см;

$h_{\text{осн}}$ – загальна товщина несних шарів основи дорожнього одягу, см;

D – діаметр відбитка колеса розрахункового автомобіля, см;

$E_{\text{п}}$ – середньозважений модуль пружності монолітних шарів покриття, МПа;

$E_{\text{осн}}$ – середньозважений модуль пружності несних шарів основи, МПа;

$E_{гр}$ – загальний модуль пружності основи, що підстилає посилений шар, МПа;

$c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ – коефіцієнти рівняння, які визначені на основі виконаних експериментальних досліджень, та наведені в табл. 2.

В результаті проведеного аналізу напружено-деформованого стану конструкцій дорожнього одягу, посилених георатками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими, встановлено, що включення геосинтетичних елементів у конструкцію дорожнього одягу суттєво змінює розподіл внутрішніх напруг та знижує концентрацію деформацій у найбільш навантажених зонах. Зафіксовано зменшення величин активних зсувних напруг у щебеневому шарі, що безпосередньо впливає на стійкість конструкції до зсувних деформацій.

Таблиця 2 – Загальні коефіцієнти для визначення α_2 в залежно від типу георатки.

c_0 (TX150/TX160/TX170)	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3
0,03331/0,3234/0,3137	0,1153	0,2864	-7,22222E-07	0,000341	-0,0000025

Крім того, встановлено зростання еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу внаслідок взаємодії георатки з щебеним шаром. Посилення сприяє формуванню композитної структури з покращеними механічними характеристиками, що проявляється у підвищенні загальної жорсткості конструкції. Це підтверджується результатами натурних штампових випробувань, які порівняно з традиційними конструкціями демонструють зменшення величин вертикальних осідань при однакових рівнях навантаження.

У четвертому розділі представлено розроблену методику конструювання та розрахунку, а також розроблені технологічні карти з влаштування дорожніх одягів, що посилені георатками.

Методика розрахунку дорожнього одягу, із георатками не суперечить галузевому нормативному документу ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Дана методика базується на принципах забезпечення довговічності конструкції, основою для проектування є розрахункова інтенсивність руху, прогнозований термін експлуатації, категорія дороги та фізико-механічні характеристики матеріалів конструктивних шарів. У процесі проектування визначається товщина кожного шару дорожнього одягу з урахуванням модуля пружності матеріалів та допустимих деформацій. Метод передбачає використання коефіцієнтів надійності та переходу між шарами з різними модулями жорсткості. Для перевірки міцності конструкції виконується розрахунок напружень та деформацій у відповідних точках. Окремо враховуються кліматичні умови (зона морозостійкості, зволоження), а також характеристики земляного полотна.

Конструкція дорожнього одягу задовольняє вимогам надійності та міцності при виконанні умови:

$$E_{екв}/E_{потр} \geq 1, \quad (18)$$

де $E_{\text{екв}}$ – еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, МПа;
 $E_{\text{потр}}$ – потрібний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, МПа.

Для посилення щебених шарів конструкції дорожнього одягу додатково вводиться коефіцієнт посилення, який залежить від деформаційних властивостей георатки, товщини шарів основи, механічних властивостей матеріалів дорожнього одягу та ґрунтів робочого шару земляного полотна.

Ефект посилення дорожніх конструкцій георатками виражається коефіцієнтом зміцнення конструкції $K_{\text{пос}}$.

Модуль пружності посиленої конструкції дорожнього одягу визначається за залежністю (16).

Проектування конструкції дорожнього одягу і земляного полотна полягає в подальших етапах конструювання конкурентоспроможних варіантів та розрахунків із техніко-економічним обґрунтуванням і вибором раціональної конструкції.

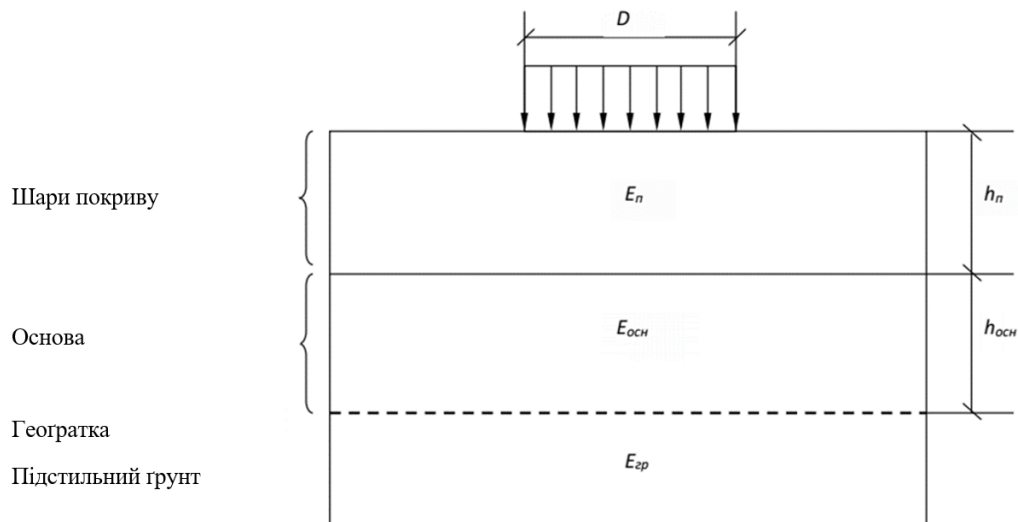


Рисунок 9 – Розрахункова схема дорожніх одягів капітального та удосконаленого полегшеного типів, посилених геораткою

Економічна ефективність, при влаштуванні дорожнього одягу, визначається як різниця витрати вартості конструкцій дорожнього одягу традиційних та посилених:

- витрати на влаштування традиційної конструкції дорожнього одягу (без георатки), складає 1650,00 грн. за м^2 ;
- витрати на влаштування посиленої конструкції дорожнього одягу (з геораткою), складає 1300,00 грн. за м^2 .

Відповідно до наведених розрахунків економія при влаштуванні посиленої конструкції складає 21 %.

Результати досліджень були впроваджені при розробленні нормативних документів для стандартизації використання геораток у дорожньому будівництві: СОУ 42.1-21483639 – 004:2017 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані «TENSAR TX» Методи проектування дорожніх одягів та штучних основ з георешітками; ТУ У В.2.7-17.5-21483639-003:2016 Георешітки полімерні жорсткі

тривісноорієнтовані «TENSAR TX» Технічні умови; ТУ У 17.5-21483639-009:2023 Георешітки (геогратки) полімерні жорсткі композитні багатовісноорієнтовані гексагональні. Технічні умови.

Матеріали досліджень було впроваджено у навчальний процес НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик, основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт.

Впровадження в практику результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Служба відновлення та розвитку інфраструктури в Одеській області, ТОВ «НВФ «Мостопроєкт», ДП Західний реабілітаційно-спортивний центр національного комітету спорту інвалідів України, ТОВ «НТЦ» «Дорінжнаука».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, що полягає в удосконаленні методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із незв'язними або слабозв'язними шарами, які стабілізовані геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими:

1. На основі аналізу наукових публікацій та результатів експериментальних досліджень встановлено, що застосування жорстких багатовісноорієнтованих геограток у конструкціях нежорстких дорожніх одягів забезпечує підвищення несної здатності та стійкості основи за рахунок перерозподілу напружень, що призводить до зменшення пластичних деформацій. Узагальненням існуючих підходів до опису взаємодії синтетичних матеріалів з інертними матеріалами основ дорожніх одягів встановлено, що ефективність посилення визначається комплексом чинників, а саме: міцнісними характеристиками геограток, властивостями заповнювача та характером навантаження. Проведений аналіз наукових джерел засвідчив недостатню розробленість теоретичних моделей та інженерних методик, здатних комплексно описати роботу жорстких багатовісноорієнтованих геограток у конструкціях нежорстких дорожніх одягів, що обумовило необхідність розроблення науково обґрунтованих підходів до їх раціонального застосування.

2. Отриманими результатами серії експериментальних досліджень підтверджено ефективність застосування геограток у конструкціях дорожнього одягу за рахунок підвищення еквівалентного модуля пружності ґрунтової основи, та посиленого шару (посилення щебеневого шару геогратками TX 150 привело до збільшення еквівалентного модуля пружності цього шару в 1,07 рази (на ґрунтах з $E_{zp} = 60$ МПа), в 1,54 рази (на ґрунтах з $E_{zp} = 25$ МПа) і в 3,5 разів (на ґрунтах з $E_{zp} = 5$ МПа)) та збільшення несної здатності дорожнього одягу. Встановлено, що ефективність підсилення залежить від співвідношення деформаційних характеристик дорожнього одягу та ґрунтів основи і відносної глибини закладання геогратки. Використання геограток сприяє рівномірному розподілу навантаження на значну площу основи (до двох діаметрів штамп), при цьому кут розподілу тиску збільшується у 1,5 рази. Так кут розподілу тиску для традиційної конструкції становить 47° , тоді як у конструкції, посиленої геограткою TX 170 він відповідає – 55° .

Відповідно відбувається збільшення чаші прогину під штампом з $R = 32$ см (у традиційної конструкції) до $R = 47$ см (конструкція посилена геораткою ТХ 170).

3. Удосконалено розрахункову схему конструкцій дорожнього одягу та математичну модель розрахунку нежорстких дорожніх одягів, підсилених георатками. Отриманий коефіцієнт посилення для різних типів геораток полімерних жорстких багатовісноорієнтованих, який складає $K_{\text{пос.}} = 1,59 - 2,30$. Запропоновано метод визначення величини еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу та коефіцієнта посилення. Проведено кореляційно-регресійний аналіз, на основі якого отримано регресійні рівняння, що дозволяють визначити ефективність посилення дорожніх одягів георатками. На основі експериментальних досліджень встановлені критерії міцності дорожніх одягів, посиленних георатками, розрахункові схеми, математична модель та інженерна методика розрахунку. На підставі аналізу напружено-деформованого стану посиленних дорожніх конструкцій виконано оцінку впливу геораток на величину активних зсувних напруг у ґрунті основи та на величину еквівалентного модуля пружності дорожньої конструкції.

4. Запропоновано методику розрахунку дорожніх одягів із врахуванням коефіцієнта посилення, що дозволяє підвищити точність проєктних рішень. Отримані результати використані при розробленні нормативного документа СОУ 42.1–21483639-004:2017 «Методи проєктування дорожніх одягів та штучних основ з георешітками». Запропонована удосконалена методика розрахунку рекомендується для застосування як при проєктуванні нових конструкцій дорожнього одягу, так і для підсилення існуючих. Відповідно до наведених розрахунків економія при влаштуванні посиленої конструкції складає 21 %.

5. Матеріали досліджень було впроваджено у навчальний процес НТУ на факультеті транспортного будівництва. Основні теоретичні та прикладні результати реалізовані у межах науково-дослідних робіт і підтверджені відповідними довідками про впровадження із таких організацій: Служби відновлення та розвитку інфраструктури в Одеській області, ТОВ «НВФ «Мостопроєкт», ДП «Західний реабілітаційно-спортивний центр» та ТОВ «НТЦ» «Дорінжнаука».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Plytus R., Kharin P., Modeling of polymeric rigid geogrid performance in the Plaxis 2D software package. *Veda a perspektivy* № 11(42) (2024): science and perspectives. DOI: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-11\(42\)-375-382](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-11(42)-375-382)

Статті у фахових виданнях України:

2. Усиченко О.Ю., Харін П.Л. Огляд використання геосинтетичних матеріалів Tensar в транспортному будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник*. 93 випуск. 2015. С. 97-105. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/097-105.pdf

3. Усиченко О.Ю., Харін П.Л. Використання армоґрунтових конструкцій Тенсар на слабких перезволожених ґрунтах. *Автомобільні дороги і дорожнє*

будівництво: Науково-технічний збірник. 95 випуск. 2016. С. 97-103.
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/95/096-103.pdf

4. Варивода О.М., Харін П.Л. Механізм посилення насипів на слабких основах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури збірник наукових праць*, 2018. Випуск № 71, С. 161-169. https://drive.google.com/file/d/1DLnGV1YiL-1RvZcogF25OVF0c5_wdLMn/view

5. Гуртіна Л.Г., Хлапук М.М., Шумінський В.Д., Харін П.Л. Ефективність роботи споруд з ґрунтових матеріалів, підсилених георешітками, з врахуванням сейсмічних впливів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Випуск 2(86). 2019 р. С. 28–44
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp_tekhn_2019_2_5

[bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FI](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp_tekhn_2019_2_5)
[LA=&2_S21STR=Vnuvgrp_tekhn_2019_2_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp_tekhn_2019_2_5)

6. Усиченко О.Ю., Смірнова Н.В., Кушнірова О.М., Харін П.Л. Обґрунтування моделі розрахунку незв'язних шарів дорожньої конструкції, що стабілізовані георешіткою. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник*. Вип. 108. 2020. С. 84–95. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-284-291
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/84.pdf

7. Усиченко О.Ю., Харін П.Л., Зарічний А.О. Експериментальні дослідження конструкцій дорожніх одягів посилені жорсткими багатовісноорієнтованими полімерними георешітками. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. 2024. Випуск 115. Частина 1. С. 284 – 291. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-284-291

8. Харін П.Л., Плитус Р. М. Метод розрахунку нежорсткого дорожнього одягу посиленого георешітками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. 2025. Випуск 115. Частина 1. С. 100-108. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.1-100-108>

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. L. Gurtina, I. Mazur, V. Sedin, K. Bikus, V. Kovba, Y. Slyusarenko, V. Tytarenko, N. Kosheleva, P. Kharin, R. Plytus, I. Kaliukh Case study. Experimental and theoretical analysis of reinforcement of weak soils with geogrids at the foundation on the basis of field studies of a road embankment bypassing the city of Reni, Ukraine. *Geosynthetics: Leading the Way to a Resilient Planet*. WoS. 2023. С. 1254-1260. DOI: 10.1201/9781003386889-159

Свідоцтва та патенти:

10. Патент України на корисну модель, реєстраційний номер заявки u 2024 02591 Дамба з ґрунтових матеріалів. Шуминський В.Д., Домбровський Я.І., Шаповал В.Г., Харін П.Л. Дата реєстрації 26 листопада 2024 р.

11. Патент України на корисну модель, реєстраційний номер заявки u 2025 00306. Земляна дамба на перезволожених ґрунтах. Шуминський В.Д., Домбровський Я.І., Шаповал В.Г., Харін П.Л. Дата реєстрації 24 січня 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Харін П.Л. Удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими – 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, 2025.

У дисертації досліджено важливе науково-практичне завдання удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із урахуванням посилення геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими. Застосування запропонованого підходу сприяє підвищенню ефективності використання геосинтетичних матеріалів у транспортному будівництві, що забезпечує оптимізацію конструктивних рішень, зниження матеріаломісткості та енергозатрат на будівництво і ремонт доріг, а також підвищення їх довговічності та експлуатаційної надійності.

Наукова новизна роботи ґрунтується на комплексному експериментальному вивченні поведінки нежорстких дорожніх одягів, посилених полімерними геогратками, під дією статичних та короточасних навантажень. Проведені натурні дослідження дозволили встановити якісні та кількісні закономірності взаємодії елементів посилення із щебеним шаром і ґрунтовою основою. Зокрема, експерименти дозволили виявити, що геогратки сприяють значному збільшенню зони розподілу навантажень на основу, формують композитний шар посилення з підвищеною згинальною жорсткістю, що перешкоджає локальним деформаціям і випору ґрунту.

Встановлено залежність ефективності посилення від співвідношення деформативних характеристик матеріалів дорожнього одягу та основи (коефіцієнта $E_{гр}/E_{до}$) та відносної глибини закладення геогратки ($h_{до}/D$). Проведено аналіз впливу різних типів геограток на напружено-деформований стан конструкцій, що дало змогу оцінити зміни величин активних зсувних напруг і еквівалентного модуля пружності.

На основі кореляційно-регресійного аналізу отримано емпіричну математичну модель для визначення коефіцієнта посилення, що враховує комплекс параметрів конструкції та умов її експлуатації. Розроблена інженерна методика розрахунку дозволяє обґрунтувати оптимальні товщини та параметри дорожніх одягів посилених геогратками, враховуючи інтенсивність руху, навантаження на вісь автомобіля, термін експлуатації та кліматичні умови.

Практична значущість роботи підтверджується впровадженням розроблених методик та технологічних рішень у будівельну практику низки організацій транспортної інфраструктури, а також використанням матеріалів дослідження у навчальному процесі Національного транспортного університету.

Отримані результати сприяють підвищенню надійності та довговічності дорожніх покриттів, зниженню експлуатаційних витрат і матеріаломісткості будівельних конструкцій, що є вагомим внеском у розвиток сучасного транспортного будівництва з використанням інноваційних геосинтетичних матеріалів.

Ключові слова: автомобільна дорога, шар щебню, геогратка, нежорсткий дорожній одяг, натурні дослідження, статичні штампові випробування, напружено-деформований стан.

ABSTRACT

Kharin P.L. Improvement of the method for calculating non-rigid road pavement structures with polymer rigid multi-axis oriented geogrids – As a manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.22.11 “Motorways and Airfields.” (192 – Construction and Civil Engineering). – National Transport University, Kyiv, 2025.

The dissertation investigates an important scientific and technical problem of improving the method of calculating non-rigid road pavement structures, taking into account reinforcement with rigid multi-axis oriented polymer geogrids. The application of the proposed approach contributes to the more efficient use of geosynthetic materials in transport construction, which ensures the optimization of design solutions, a reduction in material consumption and energy costs for road construction and repair, as well as an increase in their durability and operational reliability.

The scientific novelty of the work is based on a comprehensive experimental study of the behavior of non-rigid road pavements reinforced with polymer geogrids under static and short-term loads. Field studies have established qualitative and quantitative patterns of interaction between reinforcement elements, the crushed stone layer, and the soil base. In particular, the experiments revealed that geogrids contribute to a significant increase in the load distribution area on the base and form a composite reinforcement layer with increased bending stiffness, which prevents local deformations and soil heaving.

The dependence of the reinforcement efficiency on the ratio of the deformation characteristics of pavement and subgrade materials (coefficient $E_{\text{гр}}/E_{\text{до}}$) and the relative depth of geogrid embedding ($h_{\text{до}}/D$) was established. The influence of different types of geogrids on the stress-strain state of structures was analyzed, which made it possible to estimate changes in the values of active shear stresses and the equivalent elastic modulus.

Based on the correlation-regression analysis, an empirical mathematical model was obtained to determine the gain factor, which takes into account a set of structural parameters and operating conditions. The developed engineering calculation methodology makes it possible to justify the optimal thicknesses and parameters of pavements reinforced with geogrids, taking into account traffic intensity, vehicle axle load, service life, and climatic conditions.

The practical significance of the work is confirmed by the implementation of the developed methods and technological solutions in the construction practice of a number of transport infrastructure organizations, as well as the use of research materials in the educational process of the National Transport University.

The obtained results contribute to increasing the reliability and durability of road pavements, reducing operating costs and material consumption of building structures, which is a significant contribution to the development of modern transport construction using innovative geosynthetic materials.

Keywords: highway, crushed stone layer, geogrid, non-rigid road surface, field studies, static stamp tests, stress-strain state.