

Спеціалізована вчена рада
Д 26.059.02 у Національному
транспортному університеті
01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н. професора, в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг основ і фундаментів Кузло Миколи Трохимовича на дисертаційну роботу Харіна Павла Леонідовича на тему **«Удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими»**, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Дисертацію виконано в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України. Дисертаційна робота виконана українською мовою на 194 сторінках, основний текст викладений на 131 сторінці. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань та містить 5 додатків.

Актуальність теми дисертаційної роботи

Підтвердженням актуальності виконаних досліджень є результати аналізу причин передчасних руйнувань дорожніх одягів автомобільних доріг. Найбільш вразливими до ушкоджень виявляються ділянки з основами, зведеними з незв'язних та слабозв'язних матеріалів, які в процесі тривалої експлуатації поступово втрачають здатність забезпечувати належний перерозподіл навантажень від транспортних засобів. У таких випадках відбувається інтенсивне накопичення залишкових деформацій, формування колійності та поява локальних осідань, що істотно знижує рівність та довговічність покриття.

Конструкція дорожнього одягу є складною багатошаровою інженерною системою, працездатність якої залежить не лише від міцності та довговічності шарів покриття, але й від стабільності та несучої здатності основи. Шари з інертних матеріалів у складі конструкції виконують ключову функцію — вони забезпечують загальну стійкість та міцність дорожнього одягу, сприяють перерозподілу транспортних навантажень і зниженню тиску на ґрунт основи. Разом з тим міцнісні характеристики таких матеріалів істотно погіршуються під впливом змін водно-теплового режиму, особливо в післязимовий період, що супроводжується перезволоженням та зниженням несучої здатності основи. Додаткові навантаження від руху транспорту та власної ваги



конструкції призводять до швидкого накопичення пластичних деформацій, що скорочує фактичний термін експлуатації дорожнього одягу.

Одним із ефективних способів підвищення довговічності основ із інертних матеріалів є їх посилення геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими. Використання геограток забезпечує механічну стабілізацію щелевеного шару, обмеження розвитку деформацій, перерозподіл напружень у ґрунтовій основі та підвищення еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу.

Таким чином, важливим завданням є удосконалення методів розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням ефекту посилення за допомогою геосинтетичних матеріалів. Це дозволить підвищити надійність та довговічність дорожніх конструкцій, що відіграють ключову роль у функціонуванні транспортної інфраструктури держави.

Для досягнення мети підвищення надійності та довговічності дорожніх конструкцій автор дисертаційної роботи ставив і розв'язав такі основні завдання:

- проаналізовано результати попередніх досліджень, присвячених застосуванню жорстких багатовісноорієнтованих геограток у конструкціях нежорстких дорожніх одягів, узагальнено наукові підходи до опису їх взаємодії з інертними матеріалами шарів основи дорожнього одягу;

- досліджено експериментально механізм стабілізації дорожніх конструкцій та встановлено вплив жорстких багатовісноорієнтованих геограток на деформаційні характеристики, визначено зміну еквівалентного модуля пружності та несучої здатності ґрунту залежно від типу геогратки, різновиду підстиляючого ґрунту та глибини її закладання;

- розроблено на основі результатів фізичного моделювання математичну модель стабілізації дорожньої конструкції з урахуванням впливу жорстких багатовісноорієнтованих геограток на напружено-деформований стан основи та визначено за допомогою кореляційно-регресійного аналізу коефіцієнт посилення;

- запропоновано удосконалену методику розрахунку дорожніх одягів із урахуванням коефіцієнта посилення, обґрунтовано її застосування в новому будівництві та при підсиленні існуючих конструкцій.

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

Слід зазначити, що наведені в дисертаційній роботі результати досліджень 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 проектування, 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.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що автором 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;

– 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 посиленних геогратками, яка дозволяє оптимізувати їхню товщину, підвищити несучу здатність основи, зменшити витрати на будівництво та ремонтно-відновлювальні роботи, а також забезпечити довговічність і надійність автомобільних доріг.

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 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. Основні теоретичні та прикладні результати реалізовані у межах науково-дослідних робіт і підтверджені відповідними довідками про впровадження в таких організаціях: Служби відновлення та розвитку інфраструктури в Одеській області, ТОВ «НВФ «Мостопроєкт», ДП «Західний реабілітаційно-спортивний центр» та ТОВ «НТЦ» «Дорінжнаука».

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

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, а також апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях, всеукраїнській науково практичній конференції та інших науково практичних конференціях.

Оцінка змісту 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.

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** виконано 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.

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.

В цілому представлений огляд стану питання на сучасному етапі підтвердив рішення поставлених завдань дослідження, сформульовані автором.

У **другому розділі** викладено результати експериментальних досліджень роботи конструкцій нежорсткого дорожнього одягу, підсиленних 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 несучу здатність конструкції дорожнього одягу в натурних умовах.

Посилення щебеневому шару георатками ТХ 150 привело до збільшення еквівалентного модуля пружності цього шару в 1,07 рази (на ґрунтах з Егр – 60 МПа), в 1,54 рази (на ґрунтах з Егр – 25 МПа) і в 3,5 разів (на ґрунтах з Егр – 5 МПа).

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 ТХ 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 ТХ 170), тобто спостерігається збільшення радіусу чаші прогину більше, ніж у 1,5 рази.

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.

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 напружень та знижує концентрацію деформацій у найбільш навантажених зонах. Зафіксовано зменшення величин активних зсувних напружень у щебеневому шарі, що безпосередньо впливає на стійкість конструкції до зсувних деформацій.

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 методику конструювання та розрахунку конструкцій нежорстких дорожніх одягів за критерієм допустимого пружного прогину на основі математичної моделі, що враховує ефект посилення геосинтетичними матеріалами, а також розроблені технологічні карти з влаштування дорожніх одягів з даних матеріалів.

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.

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 геогратки), складає 1650,00 грн. за м²;
- витрати на влаштування посиленої конструкції дорожнього одягу (з геограткою), складає 1300,00 грн. за м².

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

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи. Автореферат оформлено відповідно до вимог п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (у редакції від 06.09.2016 р.)

Зауваження та побажання по дисертаційній роботі

1. В меті та завданні досліджень написано багато інформації яку можна було б скоротити, та висвітлити більш чітко.

2. У першому розділі дисертаційної роботи присутні посилання на застарілі публікації.

3. Розділ 2 перенасичений рисунками. Рисунки 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 варто було б винести у окремий додаток дисертаційної роботи. Під час проведення натурних досліджень не зрозуміло, як фіксувалась на ґрунт основи чаша прогину конструкції дорожнього одягу, що посилена геогратками.

4. У висновках до розділу 2 необхідно навести інформацію про оптимальну товщину щебеневого шару посиленого геограткою

5. При визначенні еквівалентної товщини шару ґрунту (формула 3.6 стор. 109), що рекомендується для дорожнього одягу, який працює у стадії повільного накопичення пластичних деформацій та передбачає приймати значення модуля деформацій. У роботі вона застосовується зі значенням модуля пружності дорожнього одягу.

6. Відповідно до техніко – економічних показників при використанні багатовісноорієнтованих ґраток зменшуються об'єми незв'язних

матеріалів для будівництва конструкції дорожнього одягу необхідно було б приділити увагу питанням екологічності

7. В тексті дисертації бажано було б використовувати загально прийняті терміни, такі, як несуча здатність, напруження тощо.

Заключний висновок

1. Зауваження, які наведено вище, не знижують в цілому загальної позитивної оцінки дисертації, що розглядається.

Відмічені вище зауваження по дисертаційній роботі не ставлять під сумнів основні результати досліджень і, в переважному випадку, є побажаннями для наступної наукової роботи

2. В дисертаційній роботі на тему «Удосконалення методу розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із геогратками полімерними жорсткими багатовісноорієнтованими» вирішена актуальна науково-практична задача, яка полягає в удосконаленні методики розрахунку конструкцій дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням геограток полімерних жорстких багатовісноорієнтованих. Це дозволило одержати нові наукові результати для більш раціонального встановлювання параметрів технологічного процесу, забезпечити більшу енергозбереженість та отримання більш економічних рішень під час будівництва та ремонтів нежорстких дорожніх одягів.

3. Представлений у дисертації матеріал по актуальності, науковій та практичній цінності, об'єму і глибині досліджень відповідає вимогам пунктів 9. 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 (зі змінами і доповненнями) щодо кандидатських дисертацій, а її автор **Харін Павло Леонідович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 - автомобільні шляхи та аеродроми.

Офіційний опонент:

доктора технічних наук, професор,
в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг,
основ та фундаментів Національного
університету водного господарства та
природокористування, м. Рівне

 **М.Т. Кузло**



