

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

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Бубели Андрія Володимировича на тему
**«Методологія проектування поперечних дренажів мілкового закладання з
оцінкою якісного стану автомобільної дороги»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

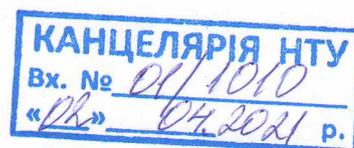
Актуальність теми дисертаційної роботи

Розвиток загальної структури автотранспортної мережі України, будівництво та реконструкція ділянок автомобільних доріг вимагають подальшого вдосконалювання методик розрахунку з регулювання водно-теплогового режиму в умовах кліматичних змін.

Тема дисертаційної роботи є актуальною, направленою на розв'язування однієї з найважливіших проблем – підвищення обґрунтованості конструкторських та технологічних рішень щодо перезволожених ділянок автомобільних доріг, шляхом розробки якісно нової методології проектування поперечних дренажів мілкового закладання з оцінкою їх якісного стану.

В галузі будівництва та експлуатації характерних ділянок автомобільних доріг (у виїмках, нульових відмітках, невисоких насипах, угнутих в поздовжньому профілі та з поздовжнім похилом більшим за поперечний) накопичено великий експериментальний матеріал зі зміни водно-теплогового режиму в річному циклі та відомо цілий ряд методів з визначення параметрів дренажних конструкцій мілкового закладання. Існуючі на сучасному етапі методи розрахунку напружено-деформованого стану дорожньої конструкції не дозволяють в повній мірі враховувати їх особливу специфіку при наявності дренавальних шарів з трубчастими дренами, які створюють послаблені зони, що призводять до перерозподілу нормальних напружень та до небажаних деформацій.

Відомі методи розрахунку дренажів мілкового закладання не враховують всі особливості міграції вологи в дренавальних шарах:



- переважно пристосовані для визначення їх параметрів в умовах рівномірного руху фільтраційного потоку;
- описують цей процес за допомогою емпіричних формул, які ґрунтуються на дослідних матеріалах і дають задовільні результати лише у тих випадках, коли область їх використання аналогічна умовам їх отримання.

В дисертаційній роботі Бубели А.В. запропоновано один із можливих шляхів вирішення даної проблеми, який ґрунтується на методах визначення якісного стану перезвожених ділянок доріг, що дозволило врахувати вагомість дренажних конструкцій; удосконалення методу розрахунку параметрів поперечних дренажів мілкового закладання; дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції як на етапі влаштування, так і на етапі експлуатації; проведення експериментальних досліджень щодо інтенсивності водовідведення дренажними конструкціями мілкового закладання.

Для втілення поставленої мети в практичні рекомендації автором дисертаційної роботи ставляться і розв'язуються такі основні задачі:

- проаналізовано та враховано транспортно-експлуатаційний стан ділянок доріг з урахуванням зміни водно-теплового режиму протягом річного циклу;
- для оцінки якісного стану ділянки автомобільної дороги, розроблено математичну модель для отримання комплексного показника фізичного та функціонального зносу;
- для розрахунку параметрів дренажів мілкового закладання, запропоновано удосконалений метод, який ґрунтується на рівнянні нерівномірного руху фільтраційного потоку;
- для визначення технологічних режимів влаштування дренажних конструкцій, досліджено напружено-деформований стан дорожньої конструкції з трубчастим дренажем мілкового закладання;
- для прогнозування напружено деформованого стану дорожньої конструкції з трубчастим дренажем мілкового закладання під впливом великовагових транспортних засобів, розроблені числові тривимірні моделі;
- для прогнозування інтенсивності водовідведення поперечних дренажів мілкового закладання, проведені експериментальні дослідження роботи дренажних конструкцій;
- для оцінки впливу вібрації від дії транспортних засобів на дренажну конструкцію, проведено експериментальні дослідження з інтенсивності їх водовідведення;

– для вибору оптимальної дорожньої конструкції з дренажем мілкого закладання, розраховано відповідну інженерну методику.

Слід зазначити, що приведені в дисертаційній роботі результати досліджень теоретичного та прикладного характеру отримані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрою транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету: «Розробити аналітичну систему технічної експертизи та грошової оцінки автомобільної дороги як складової матеріально-технічної бази дорожнього господарства», № держреєстрації НДР 0117U002326, 2017 – 2018 рр. та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Розробити методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них» (ДерждорНДІ, договір № 294/15-16 від 23.09.2016 р.), «Виконати аналіз та розробити альбом типових проектних рішень земляного полотна автомобільних доріг загального користування» (державний реєстраційний № 0117U001962), «Провести дослідження процесів дренажу поверхневих вод на моделях дорожньої конструкції з дренажами мілкого закладання та розробити методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкого закладання для дорожньо-кліматичних зон України» (державний реєстраційний № 0118U000722), «Виконати аналіз та розробити національний стандарт щодо проектування і влаштування споруд поверхневого водовідведення та альбом типових рішень таких споруд для автомобільних доріг загального користування» (державний реєстраційний № 0118U000723), «Провести експериментальні дослідження процесів вологопроникності укосів земляного полотна та розробити пакет технологічних документів для проектування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування» (державний реєстраційний № 0120U103312), «Провести експериментальні дослідження процесів вологопровідності ґрунтів земляного полотна та розробити методику з визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів та відповідну розрахунково-аналітичну систему» (державний реєстраційний № 0120U103311).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій забезпечується узгодженістю фізично обґрунтованих математичних моделей

на основі отриманих експериментальних даних з інтенсивності водовідведення поперечними дренажами мілкого закладання, з урахуванням кліматичних умов.

Модельна форма рівняння для оцінки якісного стану отримана, спираючись на методи кваліметрії, на основі експертного методу. Ґрунтуючись на рівняннях переносу нерівномірного плавномірного руху рідини, модифіковано залежності у відкритих потоках для розрахунку відстані між дренажними прорізами та часу водовідведення. Для їх обґрунтованості, проаналізовано процес формування фільтраційного потоку на ділянках з прямим та зворотнім похилами дна.

Тривимірні моделі дорожніх конструкцій з трубчастим поперечним дренажем мілкого закладання побудовані на основі методу скінченних елементів, з урахуванням параметрів штампу вальця або пневмошини дорожнього котка та колеса розрахункового автомобіля за статичним навантаженням. Отримані кореляційно-регресійні залежності щодо інтенсивності водовідведення різними конструкціями поперечним дренажів мілкого закладання без впливу та під впливом вібрації, обґрунтовані умовами проведення експериментальних досліджень, які відповідають натурним, та визначеним значенням середньої похибки апроксимацій для цих моделей (2,72–12,35 %).

Основні принципи вибору оптимальних дорожніх конструкцій з поперечним дренажем мілкого закладання обґрунтовуються результатами числових та експериментальних досліджень щодо визначення техніко-технологічних параметрів.

Висновки, які представлені у кожному розділі, та загальні висновки по дисертаційній роботі достатньо повно і доцільно характеризують теоретичні та експериментальні результати досліджень, логічно відображають зміст роботи.

Достовірність отриманих у роботі результатів: підтверджена теоретичними та експериментальними дослідженнями, в основу яких закладені положення методів скінченних елементів, фізично обґрунтованих математичних залежностей в комплексі з граничними умовами, задовільною збіжністю експериментальних досліджень та числових розрахунків з результатами інших авторів, апробацією результатів роботи на різних рівнях.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що автором вперше отримано комплекс методів, які дозволяють досліджувати складні

процеси міграції вологи в дренавальних шарах та зміну напружено-деформованого стану під впливом ущільнюючих і транспортних засобів:

- на основі методу кваліметрії отримано модель якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги для визначення вагомості дренажних конструкцій на її транспортно-експлуатаційні показники;
- на основі інтегрування рівнянь нерівномірного плавномірного руху ґрунтових вод отримано залежності для визначення відстані між дренажними прорізами та часу водовідведення;
- ґрунтуючись на методі скінченних елементів, побудовано тривимірні моделі дорожньої конструкції з трубчастими дренами та досліджено їх напружено-деформований стан на стадії влаштування дренавальних шарів;
- на основі числових досліджень отримано розподіл напружень та деформацій в дорожній конструкції без та з трубчастим поперечним дренажем мілкового закладання під впливом від великовагових транспортних засобів;
- змодельовано лабораторну установку дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання відповідно до параметрів автомобільної дороги III-ї категорії, досліджено умови формування фільтраційного потоку та визначено інтенсивність водовідведення дренажних конструкцій;
- змодельовано установку імітації вібрації від транспортних засобів, на основі параметру вібропереміщення, проведено оцінку його впливу на інтенсивність водовідведення дренажних конструкцій;
- удосконалено метод визначення оптимальної дорожньої конструкції з дренажем мілкового закладання на основі двох груп критеріїв: кошторисної вартості та техніко-технологічних показників.

Значущість роботи для науки і практики визначається тим, що автор отримав математичну модель якісного стану ділянки автомобільної дороги з дренажними конструкціями, для визначення комплексного показника її фізичного та функціонального зносу, на основі чого було розроблено та впроваджено методичні рекомендації МР Д 1.2-37641918-884:2017 «Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них». Визначив технологічні параметри влаштування дренавальних шарів з трубчастими дренами, за результатами числового експерименту отримав розподіл деформацій в тілі труб, що обумовлює прийняття проектних рішень доцільності їх застосування. Для оцінки міцнісних характеристик дорожньої конструкції з трубчастою дреною під впливом великовагових транспортних засобів, визначив розподіл нормальних напружень та деформацій. Розробив метод визначення цільової функції вибору оптимальної

дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання, що дозволило впровадити на галузевому рівні методичні рекомендації МР В.2.3-37641918-913:2020 «Методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкого закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України». Є співавтором розроблених та впроваджених нормативних і галузевих документів в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України: АД А.2.4-37641918-006:2018 «Альбом типових проектних рішень конструкцій земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування»; А В.2.4-37641918-011:2020 «Альбом типових проектних рішень споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування», ДСТУ 9057:2020 «Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування», Посібник до ДСТУ 9057:2020 «Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування».

Результати наукових досліджень впроваджено в навчальний процес для проведення курсового і дипломного проектування. Апробація основних практичних результатів дисертації підтверджується відповідними актами про впровадження.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні положення дисертаційної роботи повною мірою викладені у монографії та у 40 наукових працях, з них 4 статті у закордонних виданнях, у тому числі 1 – одноосібна; 4 статті включені до міжнародних наукометричних баз Scopus; 14 статей опубліковано у фахових виданнях України, у тому числі 9 – одноосібних, а також апробовані на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету, на Міжнародних науково-практичних конференціях, міжгалузевих науково-практичних семінарах, які представлені в 11 збірниках доповідей, тез конференцій і семінарів, у тому числі 9 – одноосібних; 2 статті, які додатково відображають наукові результати; 5 свідоцтв авторського права. Це відповідає вимогам МОН України до рівня публікацій щодо докторських дисертацій. Зміст автореферату повністю відтворює основні положення дисертації.

Оцінка змісту дисертації

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження,

наукова новизна та практичне значення, представлено особистий внесок, апробація результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У **першому розділі** проводиться аналіз стану розглядуваної проблеми, наведено короткий огляд щодо зміни транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги в залежності від зміни водно-теплового режиму. Розглянуто методи розрахунку дренажних конструкцій мілкового закладання та термінів водовідведення дренажними шарами.

Проаналізовано результати лабораторних натурних експериментів, які дозволили уточнити розподіл місцевості на типи за характером зволоження та встановити їх зовнішні ознаки. В цілому представлений огляд стану питання на сучасному етапі підтвердив поставлені задачі дослідження, сформульовані автором.

У **другому розділі** для розробки математичної моделі якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги, автором розглянуто дві групи показників фізичного та функціонального зносу. За основу взято експертний метод, як такий, що дозволяє обґрунтувати вагомість простих та комплексних властивостей, що характеризують якісний стан дороги. Обґрунтовано вагомість дренажних конструкцій на ділянках доріг, що працюють в умовах перезволоження. Визначено коефіцієнт конкордації, який підтверджує узгодженість думок експертів щодо вагомості показників якісного стану.

На основі складних процесів міграції вологи в дренажних шарах, проаналізовано формування фільтраційного потоку та типи кривих його вільної поверхні в зонах між дренажними прорізами. Запропоновано систему математичних залежностей для визначення відстані між дренажними прорізами з урахуванням поздовжнього похилу автомобільної дороги та рівняння з визначення часу водовідведення поперечними дренажами мілкового закладання. Запропоновано удосконалений метод розрахунку зазначених параметрів.

У **третьому розділі** запропоновано комплекс тривимірних дорожніх конструкцій з дренажами мілкового закладання побудованих за методом скінченних елементів. Досліджено напружено-деформований стан дорожньої конструкції з трубчастими дренами двох типів (бетонною трубою та трубою ПВХ) на етапі влаштування дренажних щебневих та піщаних шарів. Отримано розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень і деформацій під впливом гладковальцевих та пневмокатків.

Наведено залежності деформацій дорожньої конструкції від зміни модуля пружності дренажних шарів, що дає можливість обґрунтувати доцільність вибору типу дренажних труб. Проведено числовий експеримент з дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з

поперечним дренажем мілкового закладання на етапі експлуатації під впливом збільшення навантаження від великовагових транспортних засобів. За розподілом нормальних напружень та деформацій в тілі дренажних труб (труб ПВХ) обґрунтовано доцільність їх застосування за класом міцності.

У **четвертому розділі** представлено два етапи експериментальних досліджень щодо особливостей роботи дренажних траншей з двома типами конструкцій та дренавальних шарів з різними коефіцієнтами фільтрації, щебеневого та піщаного. Великий інтерес являє змодельована в лабораторних умовах установка дорожньої конструкції, параметри якої відповідають автомобільній дорозі III-ї категорії та дозволяють безпосередньо спостерігати за формуванням фільтраційного потоку в дренажній траншеї.

З метою максимального наближення до реальних умов роботи дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання під впливом транспортних засобів, була розроблена установка імітації вібрації, заснована на показнику вібропереміщення.

На першому етапі експериментальних досліджень було визначено інтенсивність водовідведення двох типів поперечних дренажів мілкового закладання без та під впливом вібрації, відповідно, були отримані рівняння кореляційно-регресійних моделей в комплексі з поліноміальними залежностями щодо інтенсивності водовідведення. Другий етап експериментальних досліджень щодо інтенсивності водовідведення дренавальних шарів, дав змогу визначити їх режими роботи за принципами поглинання та осушення. Це дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення щодо вибору конструкцій дренажних та типу дренавальних шарів в залежності від дорожньо-кліматичних умов України.

Для обґрунтування та підтвердження адекватності методів експериментальних досліджень щодо ефективності роботи поперечних дренажів мілкового закладання проведено порівняльний аналіз за аналітичним методом, отриманим на основі теоретичних розробок інших авторів.

Позитивним моментом у роботі є представлений у **п'ятому розділі** метод обґрунтування вибору оптимальних дорожніх конструкцій з поперечним дренажем мілкового закладання за двома групами критеріїв: кошторисної вартості та техніко-технологічних показників. Запропоновані показники встановлено за експертним методом. Невипадкова узгодженість думок експертів обґрунтована рівнем статистичної істотності коефіцієнта конкордації $K_{кон}=0,89$. Розглянуто вісім дорожніх конструкцій та визначено найбільш оптимальну. Узагальнюючим результатом дисертаційної роботи є запропоновані методи регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції способом дренавання та проведення експериментальних

досліджень щодо режиму водовідведення з оптимальної дорожньої конструкції.

Таким чином, в дисертаційній роботі запропоновано комплекс достатньо надійних методів проектування поперечних дренажів мілкого закладання з урахуванням оцінки якісного стану ділянки автомобільної дороги. Важливою особливістю виконаних автором досліджень є його прагнення отримати розв'язок у вигляді результатів за числовими та лабораторними експериментами та, відповідно, використати їх для практичних цілей.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи. Отримані теоретичні та експериментальні результати дозволяють зробити висновок про відповідність дисертаційної роботи Бубели А.В. паспорту спеціальності 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми, зокрема, пункту «Теоретичні основи і методи проектування, реконструкції, експлуатації автомобільних шляхів та аеродромів».

Зауваження по дисертації

1. У першому розділі автором не достатньо приділено уваги щодо особливості водно-теплового режиму дорожніх конструкцій з цементобетонним покриттям.

2. У п.1.3 аналіз методу розрахунку дренажної конструкції варто було б доповнити результатами досліджень щодо роботи капіляронерериваючих шарів.

3. У п.2.2 значення нормативного допустимого показника параметру рівності автомобільної дороги (2.9) регламентується не тільки ДБН В.2.3-4:2015, у роботі посилання [74], а також ДСТУ 3587, який варто було б додати до переліку посилань.

4. У п.2.5 варто було б доповнити порівняльний аналіз щодо визначення параметрів дренажів мілкого закладання з теоретичними розробками не тільки О.Я Тулаєва, а й інших авторів.

5. У п. 3.1 та 3.2 для не обґрунтовано використання ППК SCAD, оскільки напружено-деформований стан дорожньої конструкції можливо дослідити іншими спеціалізованими програмними комплексами

6. У п.3.6 при проведенні числових експериментальних досліджень напружено-деформованого стану дорожньої конструкції не обґрунтовано, чим викликано збільшення навантаження до 86,25 кН для дороги III-ї категорії.

7. У п.4.2 та 4.3 варто було б доповнити представлені експериментальні дослідження конструкціями з використанням геосинтетичних матеріалів, зокрема геокомпозитів, в якості дренажних прошарків.

8. У п.4.1 та 5.4 при проведенні експериментальних досліджень на лабораторній установці дорожньої конструкції не вказано, яким чином визначалась вологість ґрунту земляного полотна

Заключний висновок

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

2. У дисертаційній роботі отримано нове вирішення наукової проблеми, що полягає в розробленні методів проектування поперечних дренажів мілкового закладання з урахуванням оцінки якісного стану автомобільної дороги, які ґрунтуються на експериментальних дослідженнях та числових розрахунках. Використання результатів досліджень на практиці дає можливість більш обґрунтовано визначати параметри поперечних дренажів мілкового закладання, технологічні режими влаштування дренавальних шарів, обґрунтовувати вибір типу та класу дренажних труб та визначати параметри оптимальних дорожніх конструкцій з поперечним дренажем мілкового закладання, що в кінцевому результаті підвищує їх надійність та довговічність.

3. Представлений у дисертації матеріал по актуальності, науковій та практичній цінності, об'єму і глибині теоретичних та експериментальних досліджень відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 (зі змінами і доповненнями).

4. Дисертація є закінченою науковою роботою і відповідає спеціальності 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. На основі викладеного вважаю, що Бубела А.В. заслуговує присудження вченого ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
декан будівельно-технологічного факультету
Київського національного університету
будівництва і архітектури

В.І. Гоц

Підпис д-р. техн. наук, професора Гоца В.І. засвідчую

