

ВІДГУК

Кузло Миколи Трохимовича

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів

Національного університету водного господарства

та природокористування (м. Рівне)

на дисертаційну роботу **Кватадзе Євгенії Іродіонівни** на тему «**Удосконалення методу проєктування конструкцій земляного полотна на основі визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів**»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

у галузі 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Актуальність теми дисертаційної роботи

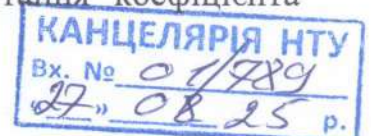
Прогнозування вологісного режиму ґрунтів є критично важливим для забезпечення ефективності та надійності в широкому спектрі інженерно-технічних та агрономічних застосувань. Ця актуальність зумовлена глибоким впливом вологи на фізико-механічні властивості ґрунту, що, своєю чергою, визначає стабільність, довговічність та ефективність інженерних споруд і природних екосистем. На сьогоднішній день це є не просто науковою задачею, а практичним інструментом для боротьби з наслідками зміни клімату, забезпечення продовольчої та водної безпеки, а також для сталого розвитку економіки та захисту навколишнього середовища.

Для будівельної галузі контроль вологи в ґрунті є запорукою надійності та стійкості інженерних споруд. Надмірне зволоження ґрунту, наприклад, в основі доріг, фундаментів будівель чи земляних дамб, призводить до зниження несучої здатності, морозного здимання та руйнування конструкцій. Постійна зміна вологості та температури спричиняє розвиток тріщин та прискорює деградацію матеріалів.

Недооцінка або ігнорування надмірної вологості земляного полотна дорожньої конструкції призводить до передчасного її руйнування, що потребує значних витрат на ремонт і відновлення автомобільних доріг.

Існуючі математичні методи прогнозування вологонакопичення в ґрунтах базуються на використанні коефіцієнта вологопровідності, що є важливою гідродинамічною характеристикою, яка визначає здатність ґрунту передавати воду через свою пористу структуру.

На сьогоднішній день для визначення коефіцієнтів вологопровідності ґрунтів в Україні використовують методики, які ґрунтуються на використанні застарілих приладів, що не відповідають європейським вимогам і підходам. Це створює суттєві проблеми для їх подальшого практичного використання в інженерній практиці будівництва різних споруд, у тому числі й дорожніх конструкцій. Оновлення нормативної бази для проєктування доріг на основі використання коефіцієнта



вологопровідності ґрунтів можливе лише на основі відповідних теоретичних та експериментальних досліджень, наукових підходів та обґрунтувань.

Тому вважаю, що задача із удосконалення методу проектування конструкцій земляного полотна на основі визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів з використанням європейських підходів і стандартів є актуальною і відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки та Національній транспортній стратегії України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота відповідає пріоритетним напрямкам Національного транспортного університету і виконана в рамках тематики науково-дослідної роботи кафедри транспортного будівництва та управління майном «Розроблення сучасних методів будівництва та експлуатації автомобільних доріг, транспортних споруд з оцінкою їх якісного стану, проведення експертної оцінки основних фондів дорожніх підприємств» (ДР № 0122U001566).

Крім того, основні результати дисертаційних досліджень теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України: «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації щодо розрахування та умов використання протиінфільтраційних шарів на автомобільних дорогах загального користування» (ДР № 0123U104749), «Виконати аналіз та розробити методичні рекомендації щодо розрахування максимального дощового стоку та методів його регулювання» (ДР № 0123U104747).

Аналіз змісту дисертаційної роботи

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, визначена мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача в опублікованих зі співавторами наукових працях.

У першому розділі проведено критичний аналіз літературних джерел щодо існуючих методів прогнозування вологонакопичення в земляному полотні дорожньої конструкції. Автор глибоко і всебічно розкриває тему дослідження, розглядаючи її різні аспекти. Зокрема, підрозділ 1.1 надає ґрунтовний огляд методів визначення вологості, від лабораторних до польових, а також із застосуванням розрахункових моделей. Поділ ділянок за типами зволоження є слушним і підкреслює комплексний характер проблеми.

Підрозділ 1.2 розкриває основні принципи нащарування ґрунтів. Виділення таких принципів, як ущільнення, однорідність і дренаж, є ключовим для розуміння конструкції земляного полотна. Автор чітко пояснює, як ці принципи впливають на водно-тепловий режим дорожньої конструкції.

У підрозділі 1.3 проведено аналіз сучасних методів дослідження водопроникності конструкцій ґрунтових інженерних споруд. Дослідження охоплює

два основні напрями: ґрунтові споруди, що постійно контактують з водоймищами, та насипи автомобільних доріг, схильні до впливу атмосферних опадів. Автор продемонстрував глибоке розуміння теми, проаналізувавши велику кількість сучасних наукових робіт, як вітчизняних, так і закордонних авторів. Особливо цінним є огляд міжнародного досвіду, зокрема досліджень китайських, австралійських та ефіопських науковців. У роботі згадуються як класичні методи вимірювання (наприклад, зі змінним напором), так і новітні технології (мікрохвильовий радіометр, георадар, моделювання за допомогою програмного забезпечення COMSOL).

На основі виконаного аналізу літературних джерел визначено низку невирішених на сьогоднішній день наукових задач та обґрунтовано необхідність проведення додаткових теоретичних та експериментальних досліджень з метою удосконалення методів проектування конструкцій земляного полотна на основі адаптації методів прогнозування сезонного вологонакопичення в ґрунтах з використанням коефіцієнта вологопровідності ґрунтів, визначеного відповідно до європейських підходів.

У другому розділі проаналізовано методи та запропоновано європейський підхід щодо визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів. В рамках даного розділу розглянуто та детально проаналізовано такі методи, як: метод інтегральної обробки та метод визначення коефіцієнта вологопровідності за допомогою приладу ПКВГ-Ф. Зазначено, що дані методи на сьогоднішній день вже є застарілими та використовуються переважно в країнах пострадянського простору. В той же час у країнах Європейського Союзу визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів регламентує міжнародний стандарт ISO 17892- 11:2019 (E), основні принципи застосування якого детально наведено у підрозділі 2.3 дисертаційної роботи.

У підрозділах 2.4 та 2.5 наведено детальний опис обладнання (вимірювального стенду), встановленого в навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету та методик проведення експериментальних досліджень із визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів, відповідно до вимог європейського стандарту ISO 17892- 11:2019 (E).

У підрозділі 2.6 викладено результати авторського аналізу експериментальних досліджень процесів вологопровідності ґрунтів, виконаних на вимірювальному стенді, відповідно до вимог європейського стандарту ISO 17892-11:2019 (E). На основі статистичного узагальнення даних лабораторних випробувань зразків різних видів ґрунту отримано значення їх коефіцієнтів вологопровідності в діапазоні зміни температури проникаючої води від 0°C до 30°C. Показано, що отримані експериментальні розмірності коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_0 (м/с) не відповідають тим, що передбачені існуючими розрахунковими моделями для прогнозування вологонакопичення в дорожній конструкції K_1 (м²/с). Це обумовило необхідність розроблення математичної моделі для усунення цієї невідповідності.

У **третьому розділі** висвітлено основні етапи визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів на основі математичного моделювання процесів вологонакопичення. Зокрема, проаналізовано теоретичні основи щодо визначення зміни вологості та коефіцієнта вологопровідності ґрунтів. Зазначено, що зволоження земляного полотна дорожньої конструкції здійснюється за рахунок двох джерел: пропускання дощової води та підняття води в товщу земляного полотна від рівня ґрунтових вод. В першому випадку, рівняння вологопереносу є достатньо дослідженими, а їх рішення є досить відомими та апробованими. В той же час, не достатньо дослідженими залишаються процеси вологопереносу в ґрунтах нижньої частини земляного полотна від рівня ґрунтових вод або верховодки, тобто при русі води знизу вверху. Саме цей фізичний процес розглянуто в дисертаційній роботі (підрозділ 3.2) та розроблено відповідну математичну модель. В основу моделі покладено видозмінене диференціальне рівняння вологопереносу в ґрунті, що описує особливості напрямку руху води – знизу вверху. Для замикання моделі прийняті початкові і граничні умови з урахуванням особливостей проведення експериментальних випробовувань зразків ґрунту. В результаті отримано аналітичну формулу для визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_1 ($\text{м}^2/\text{с}$) через коефіцієнт вологопровідності ґрунтів K_0 ($\text{м}/\text{с}$), отриманий за даними лабораторних випробовувань з використанням європейських підходів і стандартів.

На основі запропонованої математичної моделі проведено числовий експеримент і встановлено, що між коефіцієнтом вологопровідності ґрунтів K_1 ($\text{м}^2/\text{год}$) та їх повною вологоємністю $W_{\text{пв}}$, а також початковою вологістю W_0 існує обернена залежність. Цю особливість слід враховувати під час проєктування та спорудження земляного полотна дорожньої конструкції, а також під час її експлуатування у різні періоди року.

Достовірність отриманої математичної моделі підтверджено задовільним збігом результатів порівняння теоретичних та експериментальних даних з результатами, отриманими іншими авторами. Це дає можливість рекомендувати запропоновану математичну модель для визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_1 ($\text{м}^2/\text{с}$) в інженерній практиці дорожнього будування.

У **четвертому розділі** продемонстровано практичні аспекти використання коефіцієнта вологопровідності ґрунтів для проєктування конструкцій земляного полотна. Наведено основні етапи удосконалення двох розрахунково-аналітичних систем: із визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів (РАС КВПГ) та з регулювання водно-теплогового режиму дорожньої конструкції (РАС ВТР). На основі методу визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів у вигляді запропонованої автором математичної моделі (3.59) РАС КВПГ була доповнена розрахунковим модулем із визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_1 ($\text{м}^2/\text{с}$), який характеризує дифузійний перенос руху води. Також відповідно до запропонованого підходу, згідно рівняння (3.59), автором удосконалено РАС ВТР, що дає можливість

проводити розрахунки основних показників водно-теплого режиму земляного полотна на основі результатів експериментальних досліджень щодо властивостей ґрунту, зокрема його коефіцієнта вологопровідності. Нові розширені можливості удосконалених РАС КВПГ та РАС ВТР продемонстровано тестовими прикладами.

Крім цього, в розділі 4 на основі наукових результатів, отримані автором у розділах 2 і 3, запропоновано удосконалення двох інженерних методик для проектування конструкцій земляного полотна: методику розрахунку підвищення низу основи дорожнього одягу над рівнем денної поверхні землі та методику розрахунку товщини протиінфільтраційного шару дорожньої конструкції. Приклади застосування удосконалених методик продемонстровано на тестових об'єктах дорожньо-транспортного комплексу для кліматичних умов Київської області.

У **висновках** чітко та відповідно до поставлених задач сформульовані результати дисертаційної роботи та надані конкретні рекомендації щодо їх практичного використання. Висновки включають, як якісні, так і кількісні показники отриманих наукових висновків, пропозицій та рекомендацій.

Список використаних джерел є повним, відповідає змісту дисертаційної роботи та оформленим відповідно до встановлених вимог.

Додаток містить довідки щодо практичного впровадження результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше:

- визначено основні умови та проведено експериментальні дослідження процесів вологопровідності ґрунтів на вимірювальному стенді відповідно до європейських підходів;

- запропоновано математичну модель для визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_I ($\text{м}^2/\text{с}$) на основі коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_0 ($\text{м}/\text{с}$), отриманого за даними лабораторних випробувань ґрунтів з використанням європейських вимог;

- проведено числовий експеримент із дослідження чинників, що впливають на коефіцієнт вологопровідності ґрунту;

- виконано порівняльний аналіз щодо значень коефіцієнтів вологопровідності ґрунтів K_I ($\text{м}^2/\text{с}$), отриманих на основі запропонованої математичної моделі та за результатами досліджень інших авторів.

Удосконалено:

- методику розрахунку підвищення низу основи дорожнього одягу над рівнем денної поверхні землі та методику розрахунку товщини протиінфільтраційного шару дорожньої конструкції;

- автоматизовані розрахунково-аналітичні системи: із визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів та з регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції.

Повнота відображення дисертаційної роботи в опублікованих працях.

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 1 стаття у виданні України, яке включене до міжнародних наукометричних баз (Scopus); 2 – у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 5 – у збірниках праць за матеріалами конференцій.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел обсягом 93 найменування та одного додатку. Загальний обсяг дисертації становить 202 сторінки. Основний текст викладений на 176 сторінках, проілюстрований 46 малюнками та 15 таблицями.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі наукових підходів та обґрунтувань запропоновано потужний інструментарій для вирішення цілої низки актуальних прикладних задач транспортного будівництва, пов'язаних, у першу чергу, із регулюванням водно-теплового режиму дорожньої конструкції. Запропоновані інженерні рішення, зокрема метод визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів, реалізований у вигляді розрахунково-аналітичних систем, методика розрахунку підвищення низу основи дорожнього одягу над рівнем денної поверхні землі та методика розрахунку товщини протиінфільтраційного шару дорожньої конструкції. Цей інструмент дозволяє проєктувальникам точніше та швидше виконувати розрахунки, моделювати різні сценарії та порівнювати інженерні рішення.

Результати дисертаційного дослідження використані під час виконання науково-дослідних робіт на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України за договорами: від 23 листопада 2024 року № 99-23 «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації щодо розрахування та умов використання протиінфільтраційних шарів на автомобільних дорогах загального користування»; від 23 листопада 2024 року № 100-23 «Виконати аналіз та розробити методичні рекомендації щодо розрахування максимального дощового стоку та методів його регулювання».

Крім того, результати дисертаційного дослідження отримали практичне застосування на реальних об'єктах дорожньо-транспортного комплексу, зокрема під час планування та виконання робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання ділянки автомобільної дороги загального користування державного значення Н-14 Олександрівка - Кропивницький - Миколаїв, км 1+341 - км 33+495 у межах Кіровоградської області, що підтверджено відповідною довідкою про впровадження ТОВ «ГРАНБУД ЛІДЕР».

Також теоретичні та практичні положення, які наведено у дисертаційній роботі впроваджено у навчальний процес Національного транспортного університету в курсах дисциплін «Будівництво та експлуатації інженерних мереж» та «Технологія будівництва земляного полотна» для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, які сформульовано у дисертаційній роботі, підтверджується:

- достатньо ґрунтовним аналізом літературних джерел за темою дослідження;
- обґрунтованим вибором основних передумов, припущень, вихідних даних під час формулювання постановок наукових задач;
- використанням сучасного, апробованого науково-методичного апарату, коректним добром використаних загальних і часткових показників і критеріїв;
- застосуванням апробованих фізико-математичних моделей;
- достатнім обсягом експериментальних даних, що отримані із використанням сучасного лабораторного обладнання, відповідно до вимог європейського стандарту ISO 17892-11:2019 (E);
- збіжністю теоретичних розрахунків з даними експериментальних досліджень;
- апробацією результатів роботи на реальних об'єктах дорожньо-транспортного комплексу, а також під час виконання науково-дослідних робіт на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України.

Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджуються широкою апробацією на наукових конференціях.

Достовірність та новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.

Достовірність результатів роботи підтверджується проведенням комплексом експериментально-теоретичних досліджень.

Зауваження та побажання по роботі:

1. В тексті дисертаційної роботи, зокрема в розділі 1, використано кілька схожих термінів, таких як «водопроникність», «вологопровідність» та «проникність». Варто було б на початку розділу 1 або в глосарії надати їх чітке визначення, щоб уникнути плутанини і забезпечити єдину термінологію протягом усієї роботи.

2. У розділі 2 (підрозділ 2.4) наведено таблицю 2.4 з рекомендованими значеннями гідравлічного градієнта. Однак, не наведено пояснення, чому саме ці значення були обрані для експерименту і чи відповідають вони умовам досліджуваних ґрунтів. Крім того, відсутня інформація про те, чи були виміряні параметри, які впливають на результати, наприклад, температура, і як саме їх враховували.

3. Таблиця 3.2 містить помилки друкарського характеру, зокрема по вертикалі: формула (3.30) – замість формула (3.59), формула (3.31) – замість формула (3.60).

4. В описі математичної моделі (3.59) відсутні чіткі межі її застосування, особливо щодо температурного режиму. Незрозуміло, чи можна використовувати цю модель для розрахунків в умовах низьких та від'ємних температур.

5. Для реалізації запропонованої удосконаленої методики розрахунку підвищення низу дорожнього одягу над рівнем денної поверхні землі, наведеної у розділі 4.3, необхідно вказати мінімальну кількість даних спостережень за n років щодо щорічних максимумів підняття ґрунтових вод (від денної поверхні) для району проходження ділянки автомобільної дороги.

6. У розділі 4 під час удосконалення методу розрахунку параметрів протиінфільтраційних шарів дорожньої конструкції припущення про те, що «велика інфільтрація в одиниці об'єму шару буде мати місце під узбіччями, а не під покривом» потребує додаткових пояснень і обґрунтувань.

Загальні висновки та оцінка дисертаційної роботи

Представлені матеріали дисертаційної роботи Кватадзе Євгенії Іродіонівни на тему «Удосконалення методу проектування конструкцій земляного полотна на основі визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів» дозволяють зробити висновок про те, що робота є завершеним науковим дослідженням, спрямованим на вирішення актуальної задачі в галузі будівництва та цивільної інженерії, виконана з використанням сучасних методів досліджень, містить цілу низку нових наукових результатів, що мають, як наукову, так і практичну цінність та впроваджені в практику дорожнього будівництва.

У дисертаційній роботі вирішена важлива та актуальна науково-прикладна задача щодо удосконалення методу проектування конструкцій земляного полотна на основі визначення коефіцієнтів вологопровідності ґрунтів, які характеризують як фільтраційний процес, так і дифузійний перенос руху води в пористому середовищі.

Важливо відзначити, що робота виконана на високому науковому рівні, має чітку структуру та логічну послідовність викладу матеріалу. Термінологія, що застосовується в роботі, є загальноприйнятою, виклад результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків та рекомендацій здійснено у стилі, що забезпечує їхню зрозумілість та зручність для практичного застосування. Автор продемонстрував здатність до самостійного наукового пошуку, аналізу складних науково-технічних проблем, а також розробки інноваційних рішень. Дослідження містить оригінальні результати автора, з належним посиланням на роботи інших науковців.

Основні висновки дисертації опубліковані у фахових наукових виданнях, включаючи міжнародну наукометричну базу Scopus та пройшли необхідну апробацію. Практична значущість розробок полягає в можливості їх застосування

різноманітними установами та підприємствами у сфері проектування, будування та експлуатації автомобільних доріг.

Дисертаційна робота Кватадзе Євгенії Іродіонівни на тему: «Удосконалення методу проектування конструкцій земляного полотна на основі визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів», та представлені до розгляду публікації задовольняють вимогам п. 6-9 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 341 від 21.03.2022 р.).

Враховуючи актуальність дослідження, його наукову та практичну цінність, вважаю, що дисертація відповідає всім формальним вимогам, а її автор, Кватадзе Євгенія Іродіонівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент:

доктор технічних, професор,
в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг,
основ і фундаментів Національного університету
водного господарства та природокористування

 Микола КУЗЛО



 Александр ЛАШИН