

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

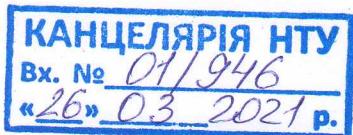
ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Бубели Андрія Володимировича на тему
**«Методологія проектування поперечних дренажів мілкого 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

На автомобільних дорогах загального користування налічується близько третини характерних ділянок – угнутих у поздовжньому профілі, з поздовжнім похилом більшим за поперечний, в невисоких насипах, у виїмках, нульових відмітках, переважна кількість яких побудована за застарілими технічними нормами минулих років. Стан таких ділянок не завжди відповідає безпечним умовам експлуатації і навесні, після відливів, вони потребують проведення ремонтних робіт.

За останні роки інтенсивність дорожнього руху на основних магістральних дорогах щорічно зростає до 20 % при 3 % зростанні кількості великовагових транспортних засобів. Відповідно, ділянки автомобільних доріг, які працюють в умовах перезволоження, повинні бути запроектовані та побудовані таким чином, щоб виконувати транспортну роботу за будь-яких умов. Дорожня конструкція повинна стійко протистояти руйнуючій дії води та утворенню деформацій покриття. Таким чином, проблема забезпечення достатнього транспортно-експлуатаційного стану за рахунок запроектованих заходів з регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції протягом річного циклу є нагальною і актуальною для забезпечення економічного зростання нашої держави. Розв'язок комплексу цих питань, які сприятимуть модернізації мережі автомобільних доріг загального користування, представлено в дисертаційній роботі. Суть, новизна та актуальність поставленої нової наукової проблеми в області проектування дренажних систем, зокрема в робочій зоні дорожньої конструкції, відображені у назві роботи. Нова методологія, що ґрунтується на дослідженнях напруженоп



деформованого стану тривимірних дорожніх конструкцій з трубчастими дренами, дозволяє розв'язати актуальну проблему на трьох взаємопов'язаних етапах: проектування, будівництва та експлуатації автомобільної дороги.

Найважливіша задача проектування дренажних конструкцій мілкого закладання полягає в забезпеченні швидкого водовідведення з основи дорожнього одягу. Основною із проектних характеристик поперечних дренажів мілкого закладання є відстань між дренажними прорізями, яка обумовлює час водовідведення та витрати на влаштування дренажних конструкцій. Рух фільтраційного потоку в дренувальному шарі пов'язаний з параметрами призматичного русла, властивостями матеріалів, фізична сутність формування його достатньо не з'ясована. Особливістю таких дорожніх конструкцій є наявність трубчастих отворів, які суттєво можуть послаблювати її міцнісні характеристики.

В першу чергу це пов'язано з технологічними особливостями влаштування дренувальних шарів, яким не було приділено належної уваги, що обумовлює вирішувати цю проблему шляхом дослідження напруженодеформованого стану таких конструкцій під впливом ущільнюючих засобів. Також потребує подальшого дослідження міцнісних характеристик дорожньої конструкції з послабленими зонами, а саме трубчастими дренами, під впливом збільшених навантажень від великовагових транспортних засобів.

Складність процесів міграції вологи в дренувальних шарах полягає в тому, що такі споруди є підземними і їх роботу дослідити майже неможливо. Це вимагає нового підходу щодо проведення експериментальних досліджень з формування фільтраційних потоків з урахуванням того, що ці споруди працюють під навантаженням та вібраційним впливом від транспортного потоку. Представлені вище актуальні проблеми обумовлюють необхідність їх розв'язування на всіх етапах життєвого циклу автомобільної дороги. Розробка методології проектування поперечних дренажів мілкого закладання з урахуванням оцінки якісного стану перевозложених ділянок доріг на основі числових та експериментальних методів досліджень дорожньої конструкції є метою рецензованої роботи.

Для реалізації поставленої мети в практичні рекомендації, автором дисертації ставляться і розв'язуються такі основні задачі:

- направок методології досліджень обґрунтовано на підставі аналізу існуючих лабораторних і натурних експериментів, методологічних зasad розрахунку дренажних конструкцій мілкого закладання;
- розроблено кваліметричну модель якісного стану ділянки дороги, ґрунтуючись на двох групах показників – фізичний знос та функціональні параметри;
- удосконалено метод розрахунку основних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання: відстані між дренажними прорізями та часу водовідведення;

- досліджено розподіл нормальних напружень та деформацій дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкого закладання на етапі будівництва дренувальних шарів;
- досліджено напружене-деформований стан дорожньої конструкції без та з поперечним трубчастим дренажем під впливом великовагових транспортних засобів;
- проведено експериментальні дослідження щодо формування фільтраційного потоку в дренувальному шарі та встановлено терміни водовідведення і відповідний об’єм;
- проведено експериментальні дослідження роботи дренажних конструкцій під впливом вібрації від дії транспортних засобів та визначено їх інтенсивність водовідведення;
- визначено цільову функцію оптимальності дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання на основі встановлених техніко-технологічних показників та кошторисної вартості.

Як видно з дисертації, автореферату та прикладених публікацій дисертанта, поставлена мета досягнута і задачі успішно вирішені. Результати досліджень теоретичного та прикладного характеру, які приведені в дисертації, отримані в процесі виконання 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 дренування 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, сформульованих у дисертаційній роботі обумовлюється перш за все фундаментальністю залежностей для визначення відстаней між дренажними прорізями та часом водовідведення, математичним описом числових алгоритмів для дослідження напружено-деформованого стану у тривимірних елементах дорожньої конструкції, відповідністю експериментальних досліджень та числових розрахунків з результатами інших авторів.

1. Структура виразів для відстаней між дренажними прорізями, отримала в дисертаційній роботі теоретичне обґрунтування на основі аналізу зон формування фільтраційного потоку та конфігурації кривої дипресії.
2. Вирази для визначення часу водовідведення являють собою комплекс співвідношень, які враховують фільтраційні властивості дренувального матеріалу, що отримані на основі загального рівняння балансу водного потоку.
3. Дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкого закладання на етапах влаштування та експлуатації проведено за методом скінченних елементів, з урахуванням параметрів ущільнюючих засобів та штампу навантаження від транспортних засобів. Використання методу скінченних елементів дозволило отримати розподіл нормальних напружень та деформацій з можливістю використання тривимірних елементів різних конфігурацій. Характеристики матеріалів дорожньої конструкції, при проведенні числового експерименту, обґруntовується теоретичними дослідженнями багатьох авторів.
4. Проведення та обробка експериментальних досліджень на установці дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання в лабораторії Національного транспортного університету дозволило підтвердити теоретичні основи, закладені при проведенні числового експерименту. За результатами кореляційно-регресійного аналізу всіх експериментальних даних, визначено коефіцієнт парної кореляції, діапазон значень якого свідчить про дуже тісний зв'язок між досліджуваними факторами. Обґрунтованість експериментальних досліджень підтверджується порівнянням з результатами, які отримані на основі теоретичних розробок інших авторів.

5. Для визначення якісного стану ділянки автомобільної дороги з дренажними конструкціями розроблені методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них (МР Д 1.2-37641918-884:2017), які ґрунтуються на методах кваліметрії, експериментальному, експертному та розрахунковому методах, запропонованими іншими авторами. Для визначення оптимальної дорожньої конструкції були розроблені методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкого закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України (МР В.2.3-37641918-913:2020), які ґрунтуються на експериментальних дослідженнях та теоретичних залежностях, отриманих багатьма авторами, а також на запропонованих в дисертаційній роботі методах регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції способом дренування. Рекомендації відпрацьовано на реальних об'єктах, затверджено на галузевому рівні і рекомендовано до використання в проектних організаціях та установах, що входять в сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України.
6. Висновки в роботі обґрунтовані детальними теоретичними дослідженнями і практичними розрахунками, розкривають суть кожного розділу і, в цілому, не викликають сумнівів. Загальні висновки являють собою логічний підсумок та підтвердження сформульованої мети і задач досліджень.

Достовірність отриманих у роботі результатів достатньо висока, підтверджена на основі кореляційно-регресійного аналізу тісним зв'язком між досліджуваними факторами, отриманими в результаті експериментальних досліджень, які проведенні на лабораторній установці дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання, на якій умови формування фільтраційного потоку в достатній мірі відповідають натурним.

Наукова новизна отриманих результатів в дисертаційній роботі ґрунтується на:

- математичній моделі визначення якісного стану ділянки автомобільної дороги з дренажними конструкціями, отриманої на основі методів кваліметрії;
- удосконаленні методу розрахунку відстані між дренажними прорізями поперечних дренажів мілкого закладання та часом його роботи (часом водовідведення);
- проведенні експериментальних числових досліджень напружено-деформованого стану моделей дорожніх конструкцій з поперечними дренажами мілкого закладання у тривимірних елементах на етапі влаштування дренувальних шарів під впливом дорожніх котків та на етапі

експлуатації під впливом понаднормативного навантаження від транспортних засобів;

- моделюванні лабораторної дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання, яка відповідає параметрам дороги III-ї категорії, з можливістю безпосереднього спостереження міграції вологи в дренажній траншеї;
- проведені експериментальних досліджень без та з впливом вібрації на дорожню конструкцію для оцінки інтенсивності водовідведення дренажних конструкцій різного типу;
- розробці удосконаленого методу визначення параметрів оптимальної дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання на основі показників кошторисної вартості та техніко-технологічних параметрів.

В такій постановці представлена робота є піонерною, підвищуючи інженерно-технічний рівень рішення важливих народногосподарських проблем і вносить вагомий вклад в застосування методів числових та експериментальних досліджень, в практику проєктування дренажних споруд на автомобільних дорогах загального користування.

Значущість роботи для науки і практики полягає в озброєнні інженерів-проєктувальників новими методами розрахунку параметрів дренажних конструкцій мілкого закладання, що дають змогу визначити їх конструктивні особливості відповідно до кліматичних зон України.

Запропоновані методи числового експерименту дозволили визначити технологічні режими щодо влаштування дренувальних шарів в залежності від впливу ущільнюючих засобів, підібрати необхідний тип та клас трубчастих дрен в залежності від умов експлуатації ділянки дороги. Визначена цільова функція підбору оптимальних дорожніх конструкцій з поперечними дренажами мілкого закладання на основі передньо досліджених техніко-технологічних параметрів та кошторисної вартості.

Другим напрямком роботи є розробка методичних рекомендацій вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкого закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України (МР Д 1.2-37641918-884:2017 та МР В.2.3-37641918-913:2020), альбомів типових проектних рішень конструкцій земляного полотна та споруд поверхневого водовідведення (АД А.2.4-37641918-006:2018 та А В.2.4-37641918-011:2020), настанови з проєктування та влаштування споруд поверхневого водовідведення та посібнику до неї (ДСТУ 9057:2020 та Посібник до ДСТУ 9057:2020), які відпрацьовані на конкретних об'єктах, показали свою ефективність та були впроваджені на галузевому рівні в організаціях та підприємствах, що входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (УКРАВТОДОР). Експериментальні дослідження щодо визначення

інтенсивності водовідведення поперечними дренажами мілкого закладання були запропоновані в навчальному процесі, оскільки запропонований матеріал можливо доступно і за досить короткий термін довести до засвоєння його слухачами.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основний зміст дисертації оприлюднений у авторефераті, 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.

Основні положення дисертації в повній мірі знайшли своє втілення в опублікованих наукових працях дисертанта, це відповідає вимогам МОН України до рівня публікацій щодо докторських дисертацій. Зміст автореферату повністю відтворює основні положення дисертації.

Оцінка змісту дисертації

Мова, стиль та структура дисертації складають добре враження.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, та 5 додатків. Робота містить 280 сторінок основного тексту, на яких 46 рисунки і 35 таблиць, список використаних джерел із 238 найменувань.

У *вступі* автором обґрутовано актуальність теми досліджень, відмічено її зв'язок з відповідними науковими програмами, сформульовано мету та задачі досліджень, наукову новизну та практичну цінність результатів роботи, визначено особистий внесок здобувача, наведено апробацію результатів, публікації, загальний обсяг і структуру роботи.

У *першому розділі* розглянуто зміну транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги в залежності від водопроникності асфальтобетонних покрівель, зміни водно-теплового режиму дорожньої конструкції протягом річного циклу, впливу від дії навантаження великовагових транспортних засобів (підрозділ 1.1). У підрозділі 1.2 проаналізовано закономірності роботи дренажних систем, які ґрунтуються на дослідженнях міліоративних дренажів та дренажів мілкого закладання на автомобільних дорогах. У роботі розглянуто наукові розробки, які направлені на внутрішнє відведення води із зернистих та пористих шарів, розрахункові методи щодо роботи дренувальних шарів.

Необхідно відмітити також, що в роботі проводився аналіз розподілу стадій водно-теплового режиму автомобільної дороги в залежності від сезонного зволоження та зміни температури, які були уточнені за рахунок натурних спостережень багатьох авторів.

Розділ завершується висновками, зробленими на основі аналізу робіт щодо доцільноти проведення подальших досліджень та оптимальних шляхів розв'язання поставленої проблеми.

У *другому розділі* представлено основні етапи моделювання оцінки якісного стану ділянок доріг, які працюють в умовах перезволоження. Для опису транспортно-експлуатаційного стану ділянки дороги обґрунтовано номенклатуру показників фізичного та функціонального зносу, відповідна кількість рівнів та груп кваліметричної моделі. Вагомість показників якісного стану автомобільної дороги визначається за розрахунковим та експертним методами. Проведено розрахунок коефіцієнта конкордації та підтверджено його статистична істотність (підрозділ 2.2).

Визначення залежностей для відстані між поперечними дренажними прорізями між дренажами мілкого закладання ґрунтуються на основному диференційному рівнянні нерівномірного плавнозмінного руху рідини у призматичних руслах та гіпотезі В.І. Чарномського (підрозділ 2.3). На основі загального рівняння балансу водного потоку отримано залежність для часу водовідведення (підрозділ 2.4).

Розроблені математичні залежності для основних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання на характерних ділянках автомобільної дороги адекватно враховують основні фактори, що впливають на процес міграції вологи в дренувальних шарах і дозволяють в новому аспекті розв'язувати поставлені в роботі задачі (підрозділ 2.5).

У *третьому розділі* наведено результати числових експериментальних досліджень, які здійснювались шляхом використання методів скінченних елементів на основі ПРК SCAD (підрозділ 3.1 та 3.2). Такий підхід дозволив отримати розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень та деформацій в тривимірних дорожніх конструкціях з поперечними дренажами мілкого закладання. При числовому моделюванні використовується статичне навантаження, як найбільш несприятливе за тривалістю в процесі формування вологісного режиму перезволоженого дренувального шару та ґрунту земляного полотна.

На першому етапі числового експерименту досліджувався вплив ущільнюючих засобів при влаштуванні дренувальних шарів, на другому – вплив великовагових транспортних засобів (підрозділ 3.3, 3.4, 3.5). Враховуючи величину та розподіл деформацій в тривимірних елементах дорожньої конструкції, обґрунтовано основні технічні параметри будівництва дренажних конструкцій та вибір типу труб для дренажів у відповідності до умов експлуатації перезволоженої ділянки дороги (підрозділ 3.6).

У четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень щодо визначення інтенсивності водовідведення на установці дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання, параметри та умови роботи якої відповідають натурним (підрозділ 4.2). Установка була побудована в лабораторії Національного транспортного університету відповідно до проектних розмірів дороги III-ї категорії (підрозділ 4.1). Важливим результатом роботи є моделювання установки імітації вібрації у відповідності до вихідних параметрів, які були отримані в натурних умовах від впливу транспортних засобів (підрозділ 4.3). Було досліджено роботу дренажних конструкцій дох типів: з трубчастою дrenoю та щебеневим ядром, без та з впливом вібрації. У підрозділі 4.4 було представлено порівняння інтенсивності водовідведення щебеневих та піщаних дренувальних шарів, які найбільш використовуються дорожньому будівництві, на основі чого визначено, що шар з піску, який був запроектований на осушення, працював у режимі поглинання. Для підтвердження адекватності запропонованих методів експериментальних досліджень у підрозділі 4.5 наведено порівняльний аналіз з результатами, отриманими за аналітичним методом на основі теоретичних розробок О.Я. Тулаєва.

У п'ятому розділі наведені практичні аспекти використання запропонованих числових та експериментальних досліджень режимів роботи дренажних конструкцій, які працюють під впливом навантаження. У підрозділі 5.1 та 5.2 наведено основні принципи визначення оптимальної дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання, які ґрунтуються на сукупності техніко-технологічних параметрів та кошторисної вартості.

У підрозділі 5.3 представлено методи регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції способом дренування, які лягли в основу розробки методичних рекомендацій з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкого закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України (МР В.2.3-37641918-913:2020), апробованих та впроваджених на галузевому рівні.

Заключний етап експериментальних досліджень наведено у підрозділі 5.4, де на основі кореляційно-регресійного аналізу визначено режим водовідведення на дорожній конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання.

Зміст автореферату повністю відтворює основні положення дисертації. Отримані теоретичні та експериментальні результати дозволяють зробити висновок про відповідність дисертаційної роботи Бубели А.В. паспорту спеціальності 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми.

Зауваження по дисертації

1. На початку роботи варто було подати перелік прийнятих умовних скорочень, наприклад, ДК, ЗП, ПДМЗ чи МСЕ.
2. У підрозділі 1.1 розглянуто питання щодо впливу водно-теплового режиму на транспортно-експлуатаційний стан дороги, зокрема проблеми водопроникності асфальтобетонних покривів. Слід було б більш розширено розглянути це питання і для цементобетонних покривів.
3. У підрозділі 2.1. згадується про експериментальний метод визначення параметрів фізичного зносу ділянки автомобільної дороги, але не наведено методи та засоби його реалізації.
4. У запропонованій кваліметричній моделі (рис. 2.9) на третьому рівні групу показників транспортних споруд варто було б розширити, зокрема розглянути наявність малих мостових переходів та водопропускних труб.
5. У підрозділі 2.4 формула (2.103 та 2.109) для визначення часу водовідведення використано коефіцієнт водонасичення k_f . Слід було б пояснити, яким чином було отримано його значення.
6. Доцільно було б більш детально проаналізувати напружено-деформований стан дорожньої конструкції з проміжними значеннями тиску в шинах пневмокотка (табл. 3.4).
7. У підрозділі 3.6. розглядається вплив навантаження на труби ПВХ класу SN 2 та SN 8. Лишається відкритим питання щодо доцільності використання труб ПВХ класу SN 4.
8. Представлений графічний матеріал у додатку Б, у вигляді графіків розподілу ізополів та ізоліній в об'ємних елементах під впливом навантаження від великовагового транспорту, важко сприймається, варто було б навести окремі зони деформацій труб у збільшеному вигляді.

Заключний висновок

1. Відмічені вище зауваження по дисертаційні роботі не ставлять під сумнів основні результати досліджень і не знижують в цілому загальної позитивної оцінки.
2. Дисертаційна робота на тему “Методологія проектування поперечних дренажів мілкого закладання з оцінкою якісного стану автомобільної дороги” є актуальним, завершеним дослідженням, яке містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення. Значимість дисертаційної роботи Бубели А.В. полягає в єдиному методологічному підході до побудови математичної моделі якісного стану ділянки автомобільної дороги, визначені основних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання, досліджені напружено-деформованого стану дорожніх конструкцій з трубчастим дренажем мілкого закладання у тривимірних елементах на основі числового експерименту, отримані результатів експериментальних досліджень на установці дорожньої конструкції у

відповідності до реальних умов, визначені цільової функції оптимальності дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкого закладання. Це дозволяє проводити відповідне обґрунтування проектних рішень щодо регулювання водно-теплового режиму перезволожених ділянок автомобільної дороги.

3. Отримані теоретичні 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”.
4. Представлений у дисертації матеріал по актуальності, науковій та практичній цінності, об'єму і глибині 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) щодо кандидатських дисертацій, а її автор Бубела Андрій Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автомобільних
доріг та мостів
Національного університету
«Львівська політехніка»

С.Й. Солодкий

Підпис д.т.н., професора Солодкого С.І. післядчую:
Вчений секретар НУ «Львівська політехніка»
к.т.н., доцент

Р.Б. Брилинський

