

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БУБЕЛА АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625.7/.8:626.86

**МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО
ЗАКЛАДАННЯ З ОЦІНКОЮ ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОЇ
ДОРОГИ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант:

Доктор технічних наук, професор

Славінська Олена Сергіївна,

Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України,

декан факультету транспортного будівництва

м. Київ

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор

Смірнова Наталія Володимирівна,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Міністерства освіти і науки України,

професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг

м. Харків

Доктор технічних наук, професор

Кузю Микола Трохимович,

Національний університет водного господарства та

природокористування Міністерства освіти і науки України,

завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів

м. Рівне

Доктор технічних наук, професор

Солодкий Сергій Йосифович,

Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства

освіти і науки України,

завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів

м. Львів

Захист відбудеться „08” квітня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 209.

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

Автореферат розісланий „07” березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Переважна більшість автомобільних доріг на території України мають асфальтобетонне покриття. Цілісність покриття має суттєвий вплив на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги за рахунок збереження конструктивно-запроектованих міцнісних характеристик всіх шарів дорожнього одягу (ДО). Під впливом атмосферних опадів, ґрунтових вод, температурних змін, промерзання, відлиг, навантажень, особливо від великовагових транспортних засобів (ТЗ), відбуваються деформації та руйнування дорожньої конструкції (ДК). Основними факторами, що впливають на тріщиноутворення і механічне пошкодження асфальтобетонних покриттів є знос і втома під впливом багаторазових навантажень та наявність надлишкової вільної води у весняний період та під час відлиг.

Найчастіше вода, яка вже знаходиться в шарах ДК, обумовлює в них незворотні деформаційні процеси. Для забезпечення міцності та довговічності ДК, особливо на характерних ділянках (у виїмках, нульових відмітках, невисоких насипах, угнутих в поздовжньому профілі та з поздовжнім похилом більшим за поперечний), необхідно передбачати ефективні методи відведення води. Одним з економічно обґрунтованих шляхів вирішення цієї проблеми є влаштування дренажів мілкового закладання (ДМЗ).

До теперішнього часу оцінка транспортно-експлуатаційного стану проводилась без врахування функціональності дренажних конструкцій. Одним з можливих напрямків оцінки вагомості впливу дренажних конструкцій на цей стан є використання кваліметричних моделей. Такі моделі дають можливість одночасно враховувати різні методи їх оцінювання, зокрема експериментальний, розрахунковий та експертний, для визначення рівня їх фізичного і функціонального зносу.

Влаштування дренажних конструкцій обумовлює необхідність розв'язування актуальної проблеми водовідведення з ДК на трьох взаємопов'язаних етапах: проектування, будівництва та експлуатації дороги. Важливим параметром на етапі проектування цих конструкцій є визначення відстані між дренажними прорізами та інтенсивності їх водовідведення.

ДК з трубчастими дренами під шарами ДО є нетиповими, на відміну від стандартних. Такі проектні рішення є обґрунтованими, проте проблемі їх використання не було приділено належної уваги. Не врахування технологічних особливостей влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання на стадії будівництва призводить до розвитку деформацій на початковому етапі експлуатації. Це вимагає розроблення спеціальних технологічних рішень щодо режимів ущільнення шарів основи та оцінки стану труб з матеріалів різного походження.

На сучасному етапі не проводилися дослідження напружено-деформованого стану (НДС) ДК з урахуванням послаблюючих зон, за рахунок наявності дренажних труб. Специфіка таких підземних конструкцій, які працюють під навантаженням в робочій зоні земляного полотна (ЗП), виключає можливість будь-яких натурних спостережень за ефективністю їх роботи. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є проведення лабораторних досліджень на установці ДК, параметри якої відповідають реальним умовам їх роботи. Вище наведені актуальні проблеми обумовлюють необхідність в розробленні методології проектування дренажних конструкцій з

оцінкою якісного стану автомобільної дороги.

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: «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 мілкового закладання та розробити методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкового 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).

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи полягає у розробленні методології проектування поперечних дренажів мілкового закладання на підставі оцінки якісного стану автомобільної дороги.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- провести аналіз існуючих теоретичних та експериментальних методів проектування дренажів мілкового закладання та їх роботи з урахуванням транспортно-експлуатаційного стану ділянок доріг, які працюють в умовах перезволоження;
- розробити математичну модель якісного стану ділянки автомобільної дороги для отримання комплексного показника фізичного та функціонального зносу.
- удосконалити метод розрахунку параметрів поперечних дренажів мілкового закладання на основі рівнянь нерівномірного руху фільтраційного потоку;
- дослідити напружено-деформований стан дорожньої конструкції з поперечним трубчастим дренажем мілкового закладання на етапі влаштування дренавальних шарів для встановлення параметрів технологічних рішень;
- розробити числові тривимірні моделі для прогнозування напружено-

деформованого стану дорожньої конструкції з поперечним трубчастим дренажем мілкового закладання з різними міцнісними характеристиками, для визначення режиму їх роботи на стадії експлуатації;

- провести експериментальні дослідження роботи дренажних конструкцій поперечних дренажів мілкового закладання для встановлення умов формування фільтраційного потоку та прогнозування інтенсивності його водовідведення;
- дослідити вплив вібрації від дії транспортних засобів на дренажні конструкції для визначення їх інтенсивності водовідведення;
- розробити методику вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкового закладання з урахуванням встановлених закономірностей впливу різних факторів на інтенсивність їх водовідведення.

Об'єкт дослідження – процес водовідведення дренажними конструкціями мілкового закладання на автомобільних дорогах.

Предмет дослідження – методи проектування поперечних дренажів мілкового закладання з аналізом напружено-деформованого стану дорожньої конструкції.

Методи дослідження: аналітичні методи; методи математичного моделювання; числове моделювання; метод скінченних елементів з використанням положень теорії пружності; експериментальні методи; методи регресійного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблено кваліметричну модель якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги для визначення вагомості дренажної конструкції на її транспортно-експлуатаційні показники;
- удосконалено метод розрахунку параметрів поперечних дренажів мілкового закладання на основі інтегрування рівнянь нерівномірного плавнозмінного руху ґрунтових вод;
- вперше проведено числові експериментальні дослідження напружено-деформованого стану тривимірних моделей дорожньої конструкції, на стадії влаштування дренажних шарів з трубчастими дренажами, що дало можливість визначити величини деформації в тілі труб з різних матеріалів;
- вперше отримано розподіл напружень та деформацій в дорожній конструкції з трубчастими поперечними дренажами мілкового закладання на основі числового моделювання за методом скінченних елементів під впливом від великовагових транспортних засобів, що дозволяє оцінити міцнісні характеристики конструкції в цілому;
- вперше проведено моделювання в лабораторних умовах дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання, яка відповідає реальним умовам їх роботи, що дало можливість візуалізувати формування фільтраційного потоку та визначити інтенсивність водовідведення;
- вперше досліджено вплив на дорожню конструкцію вібрації, змодельованої від транспортного потоку на основі параметру вібропереміщення, що дало можливість оцінити зміну інтенсивності водовідведення дренажними конструкціями;
- удосконалено метод визначення параметрів оптимальної дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання на основі кошторисної вартості та техніко-технологічних показників, що визначають ефективність її роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- отриманні математичної моделі якісного стану ділянки автомобільної дороги з дренажними конструкціями. Ця модель враховує її фізичний та функціональний знос і дозволяє визначити комплексний показник якісного стану з урахуванням вагомості дренажних систем. На основі цього 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»;
- вирішенні технологічної задачі щодо ущільнення дренавальних шарів з трубчастими дренами в робочій зоні земляного полотна різними типами дорожніх котків. За результатами числового моделювання отримано розподіл деформацій в тілі труб, що дає можливість приймати проектні рішення щодо доцільності застосування трубчастих дрена з різних матеріалів;
- проведенні числового моделювання дорожньої конструкції з трубчастою дренаю, за методом скінченних елементів, який дозволяє визначити розподіл нормальних напружень та деформацій для оцінки міцності конструкції;
- розробленні методу визначення цільової функції пошуку оптимальної дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання з урахуванням її кошторисної вартості та впровадженні на галузевому рівні методичних рекомендацій МР В.2.3-37641918-913:2020 «Методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкового закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України»;
- розробленні та впровадженні у нормативних та технічних документах на галузевому рівні, в організаціях, які входять у сферу управління Державної служби 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 Національного транспортного університету при підготовці фахівців зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

В лекційних курсах з дисциплін «Будівництво та експлуатація інженерних мереж» та «Механіка земляного полотна» запропоновано методи та методики з визначення основних характеристик дорожньої конструкції для проведення лабораторних занять, курсового і дипломного проектування, виконання магістерських науково-дослідних робіт.

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача в розробленні наукових результатів, викладених у дисертаційній роботі, полягає у:

- розробленні математичної моделі якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги за методом кваліметрії;
- розробленні методу розрахунку відстані між дренажними прорізами та часу водовідведення;
- моделюванні елементу тривимірної дорожньої конструкції з трубчастим поперечним дренажем мілкового закладання методом скінчених елементів;
- створенні лабораторної установки дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання та проведенні експериментальних досліджень, які відповідають реальним умовам її роботи;
- моделюванні впливу вібрації від транспортного потоку на дорожню конструкцію за параметром вібропереміщення.

Здобувачем в роботах, надрукованих у виданнях іноземних держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (Scopus): в [2, 37, 38] – розроблено математичну модель для визначення транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги; [3, 39] – визначено основні параметри трубчастих дренажів з матеріалів різного походження та проведено моделювання роботи дренажних конструкцій; [4, 40] – визначено основні параметри показників функціонального та фізичного зносу автомобільної дороги та їх вагомості; [5] – досліджено особливості роботи дренажних конструкцій з різними матеріалами-наповнювачами; [7] – встановлено сукупність техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання; [8] – проведено дослідження з визначення режимів роботи дренажних шарів з матеріалів двох типів; [9] – проведено числове моделювання напружено-деформованого стану двох типів дорожньої конструкції з трубчастими дренажами (труба ПВХ та бетонна труба);

Здобувачем в роботах, надрукованих у наукових фахових виданнях: [16] – визначено основні показники, які визначають стан автомобільної дороги, та їх кількісні характеристики; [17, 18] – досліджено закономірності стійкості асфальтобетонного покриття утворення колії в асфальтобетонному покритті за рахунок в'язучих матеріалів; [20] – досліджено вплив вібрації та визначено параметри, які впливають на інтенсивність водовідведення дренажних конструкцій; [22] – досліджено режими водовідведення з дорожньої конструкції під впливом поверхневих опадів, у відповідності до реальних метеорологічних умов.

Здобувачем у працях апробаційного характеру [32] – визначено вплив вібропереміщення на інтенсивність водовідведення з дренажної конструкції; [33] – визначено оптимальні параметри дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкового закладання.

Здобувачем у працях, які додатково відображають наукові результати дисертації: [35] – досліджено методи оцінки на основі математичного та числового моделювання; [36] – проведено аналіз методів вартісної оцінки об'єктів дорожнього господарства.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичних моделей; коректною постановкою межових умов при реалізації методу скінченних елементів; математичним описом числових алгоритмів; співпадінням експериментальних досліджень та числових розрахунків з результатами інших авторів; апробацією результатів роботи на різних рівнях.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційних досліджень доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на науково-практичних та науково-технічних, міжнародних конференціях та семінарах, серед яких: Міжнародна науково-практична конференція «Європейські стандарти оцінки, землеустрою і кадастру : Проблеми впровадження та шляхи їх реалізації в Україні», 28 квітня 2016 р., Харків; Международная научно-практическая конференция «Современные геоинформационные и компьютерно-инновационные технологии дорожной отрасли, аэродромного строительства и землеустройства», 26-27 мая 2016 г., Харьков; Міжнародна науково-практична конференція присвячена п'ятидесятиріччю кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем. 03 листопада 2016 р., Харків; IX Міжнародна науково-практична конференція «Actual aspects of development in the context of globalization», 23-24 березня 2020 р., Флоренція, Італія; X Міжнародна науково-практична конференція «Modern approaches to the introduction of science into practice», 30-31 березня 2020 р., Сан-Франциско, США; XI Міжнародна науково-практична конференція «Theoretical foundations of modern science and practice», 06-07 квітня 2020 р., Мельбурн, Австралія; XVII Міжнародна науково-практична конференція «Science, trends and perspectives», 18-19 травня 2020 р., Токіо, Японія; XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Modern science, practice, society», 25-26 травня 2020 р., Бостон, США; Міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво», 28-29 травня 2020 р., Одеса; XX Міжнародна науково-практична конференція «Perspective directions for the development of science and practice», 08-09 червня 2020 р., Афіни, Греція; XXI Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of science and practice», 15-16 червня 2020 р., Хайфа, Ізраїль; наукові конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету 2015 – 2020 роках.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 41 наукову працю, у тому числі: 1 колективна монографія; 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; 11 праць апробаційного характеру, у тому числі 9 – одноосібних; 2 статті, які додатково відображають наукові результати; 5 свідоцтв авторського права.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків та 5-и додатків. Робота містить 280 сторінок основного тексту, на яких 35 таблиць і 46 рисунків, список використаних джерел із 238 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У **першому розділі** наведено короткий аналіз впливу зміни водно-теплогового режиму (ВТР) на транспортно-експлуатаційного стану (ТЕС) автомобільної дороги, який є визначальним фактором ефективності її роботи та залежить від багатьох показників. Невідповідність наявних міцнісних та геометричних параметрів автомобільної дороги до постійного зростання вантажонапруженості та швидкості руху призводить до руйнувань дорожнього одягу (ДО), що обумовлює його підвищену водопроникність. Накопичення вологи у нижніх шарах ДО та робочій зоні ЗП відбувається через дефекти покриття, не сплановані або пошкодженні узбіччя, розділювальну смугу та внаслідок руйнування трубчастих дренажних конструкцій мілкового закладання. Це загалом призводить до втрати несної здатності дорожньої конструкції (ДК).

В роботі Ендрю Доусона (Andrew Dawson) визначено, що проникність асфальтобетонних покриттів залежить від наявності в них тріщин та деформацій. Визначено основні фактори, які впливають на швидкість інфільтрації через тріщини в покритті. Проведено моделювання фізичних процесів пошкоджень асфальтобетонних покриттів, які викликані водою, на тривимірних моделях. Наведені умови невідповідності характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які було визначено в лабораторії та з яких фактично побудована дорога.

Аналіз ВТР ЗП автомобільних доріг, який нерівномірно змінюється протягом року, що обумовлює роботу ДО ДК з різним запасом міцності. Тому при проектуванні ДК необхідно розробляти заходи до вирівнювання її стійкості в річному циклі, що може бути досягнуто за рахунок забезпечення сприятливого ВТР. Для роботи ДК у сприятливих умовах необхідно, щоб сумарний приплив вологи від різних джерел зволоження не перевищував сумарної кількості вологи, що відводиться.

Ефективним способом зниження вологонакопичення в робочій зоні ЗП, упередження деформацій та руйнувань для підвищення транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги є влаштування дренажів мілкового закладання (ДМЗ).

Дослідженням регулювання ВТР ДК займалися такі провідні вчені, як проф. О.Я. Тулаєв, І.А. Золотарь, М.А. Пузаков, В.М. Сіденко, В.І. Рувинський, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Д. Россовський та ін. В роботах цих авторів основна увага приділялася питанням, пов'язаним з методами регулювання ВТР та вибором раціональних параметрів водовідвідних споруд. Основним завданням ДМЗ є забезпечення оптимального ВТР ДК, шляхом акумулювання та відведення вільної води, при цьому не зменшуючи її міцнісні характеристики.

Прикладні дослідження в області визначення ефективності роботи меліоративних дренажів, зокрема їх елементів, проведено такими вченими, як

О. Я. Олійник, М. Г. Пивовар, А. М. Тугай, М. Г. Бугай, В. В. Внучков, О. О. Добронравов, І. С. Жовтоног, М. І. Жовтоног, В. С. Кремез, В. П. Насіковський, С. В. Телима, Р. О. Баер, Б. В. Лютаєв, В. Л. Фрідріхсон та ін; у країнах СНД – А. М. Айвазов, А. К. Бехбудов, В. А. Духовний, Л. В. Кірейчева, О. В. Колганов, Н. М. Решоткіна та ін..

Професором О.Я. Тулаєвим було запропоновано розрахунок дренавального шару за одним з двох методів: поглинання та осушення. Перший – ґрунтується на тому, що вся кількість води, що надходить під шари дорожнього одягу, поглинається дренавальним шаром, другий – вся вільна вода видаляється з дренавального шару. Основним розрахунковим показником дренавального шару, який працюватиме за методом осушення є коефіцієнт фільтрації. У більшості випадків при влаштуванні дренавальних шарів використовують піщані ґрунти з коефіцієнтом фільтрації до 5 м/добу, які є досить проникними, мають невисоку дренавальну здатність, тобто відведення води з покриття є повільним процесом.

Для виправлення недоліків, пов'язаних з незадовільним дренажем, в 90 – х роках минулого століття та на початку 2000 – х в США виконано велику кількість наукових розробок, які направлені на внутрішнє відведення води з зернистих та пористих шарів. Так в нормах США (AASHTO) та Федеральною Американською дорожньою асоціацією (FHWA) наведено різні схеми відведення води з пористих шарів основи дорожнього одягу.

В роботах Г.Р. Седергрена (США) увага приділялася дренажним конструкціям та способам відведення води з поверхні покриття автомобільних доріг. При цьому невизначеними залишалися питання, пов'язані з методом розрахунку основних параметрів дренажних конструкцій мілкового закладання з дренажними прорізами з різних матеріалів-наповнювачів та ефективність їх роботи в різних режимах. У розробку та розвиток даного методу внесли великий вклад такі вчені, як О.С. Славінська, В.Я. Савенко, І.П. Гамеляк, А.С. Литвиненко.

В роботах І.В. Ципріяновича розглянуті питання щодо існуючих водовідвідних та дренажних систем, які призначені для запобігання підтоплення аеродромів. Приділено увагу методам їх розрахунку, наведено типи і види дренажів з різних матеріалів та їх конструктивні схеми, визначено основні параметри дренавальних шарів аеродромних покриттів, які впливають на час осушення аеродромних покриттів.

Польові спостереження за ВТР ЗП в районах надмірного зволоження проводилися СоюздорНДІ, його філіями, а також МАДІ, ЛАДІ до 70-х років минулого століття. Для дослідження процесів переміщення і накопичення вологи в ЗП та явищ здимання під керівництвом проф. Н.В. Орнатського і О.Я. Тулаєва були організовані стаціонарні спостереження на здимальних станціях в різних регіонах. Спостереження на майданчиках та лабораторні дослідження, проведені в СоюздорНДІ, показали, що величина вбирання вологи ґрунтом залежить від цілого ряду факторів. Тривалі спостереження ХАДІ дозволили встановити закономірності ВТР доріг в степових і лісостепових районах. У Ленінградській філії СоюздорНДІ були проведені експерименти на малих моделях, де досліди відбувалися в гідравлічному лотку, що дало змогу встановити взаємозв'язок руху води в капілярній зоні з потоком вільної води.

Це обумовлює доцільність розроблення єдиного методологічного підходу до вирішення проблеми регулювання ВТР ДК при її проектуванні та будівництві, що дозволить підвищити ефективність водовідведення.

У другому розділі було представлено модель вагомостей техніко-функціональних параметрів автомобільної дороги, яка являє собою багаторівневу систему показників, що всебічно і обґрунтовано характеризують якісні показники стану ділянки дороги, що працює в умовах перезволоження.

На сучасному етапі розвитку наукових досліджень у дорожній галузі існує ряд робіт, в яких запропоновані моделі оцінки якісного стану транспортних споруд. В цих роботах пропонується розглядати та враховувати фізичний і функціональний знос у вигляді окремого рівневого коефіцієнта якісного стану. Але, залишається відкритим питання визначення рівня якісного стану сукупності всіх елементів.

Такий підхід до оцінки рівня якісного стану докорінно відрізняється від традиційного, за умови, що властивості об'єкта дослідження не розглядаються окремо, а визначається один узагальнений показник, який характеризує сумісний вплив кожної властивості на об'єкт. Якісна ознака визначає стан окремих споруд і конструктивних елементів дороги (земляне полотно, дренажна система, дорожній одяг, тощо). Збільшення одиничного показника відповідає покращенню загального якісного стану об'єкта оцінки, є безрозмірною величиною, яка визначає рівень якісного стану.

Комплексний показник (K_{kt}) знаходиться на нульовому рівні і включає суму всіх диференційних показників, які знаходяться на першому (високому) рівні та формуються з простих властивостей, що розташовані на найнижчому (p -му) рівні моделі. На кожному i -му рівні моделі формується j -сукупність диференційних показників (K_{ij}). Вибір кількості рівнів залежить від мети оцінки ділянки автомобільної дороги, її значення (державна або місцева) і категорії, наявності тих чи інших зосереджених об'єктів та ін. Зі зростанням числа рівнів кваліметричної моделі (p) збільшується інформація про якісні ознаки об'єкта, що складають його властивості, а, отже, призводить до збільшення числа вимірювань та обчислень. Тому, кваліметрична модель, за можливості, повинна мати мінімальну кількість рівнів, проте достатню для оцінки якості із заданою точністю і відповідно до поставленої мети. При складанні моделей нові зв'язки необхідно вводити так, щоб вони краще відповідали на даному рівні вимогам з оцінювання і розкривали властивості попереднього рівня. Кожен рівень моделі повинен мати мінімальне, але достатнє число зв'язків, обумовлене повнотою опису властивостей.

Показники визначення стану ділянки автомобільної дороги розділяють на дві основні групи: фізичний знос та функціональні показники. Фізичний знос змінюється з часом і його можна охарактеризувати числовим значенням або певними нормативними показниками, що регламентують відповідність або невідповідність вимогам належного функціонування ділянки дороги. Функціональні показники з часом не змінюються, але їх відповідність залежить від споживачів транспортних послуг.

З урахуванням основних принципів кваліметрії, побудовано кваліметричну модель стану автомобільної дороги (рис. 1).

		РІВЕНЬ										
0	1	2	3		4							
Стан автомобільної дороги Ккт	Фізичний знос	Земляне полотно К1	Стан неукріпленої частини узбіччя	0,25	P1	0,025						
			Коефіцієнт ущільнення сезонний	0,273	P2	0,0273						
		0,1	Вологість сезонна	0,235	P3	0,0235	Стан укосів	0,684	P4	0,0166		
			Укоси	0,242		0,0242	Крутизна укосів	0,316	P5	0,0076		
		Дренажна система К2	Кювети, канави, лотки, швидкоотоки	0,335	P6	0,0503	Замулювання дренажної траншеї	0,206	P8	0,0100		
			Дренаж глибокого закладання	0,342	P7	0,0513	Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї	0,273	P9	0,0132		
		0,15	Дренаж мілкового закладання	0,323		0,0485	Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великогазових ТЗ під час експлуатації або від впливу дорожніх машин під час влаштування	0,263	P10	0,0127		
							Коефіцієнт фільтрації наповнювача	0,129	P11	0,0063		
						Коефіцієнт пористості наповнювача				0,129	P12	0,0063
		Дорожній одяг К3	Рівність	0,187	P13	0,0542	1 рівень ураження	0,33	P15	0,02019		
			Шорсткість (коефіцієнт зчеплення)	0,233	P14	0,0676	2 рівень ураження	0,34	P16	0,0208		
		0,29	Цілісність покриття	0,211		0,0612	3 рівень ураження	0,33	P17	0,02019		
			Міцність (коефіцієнт запасу міцності)	0,25	P18	0,0725						
				Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи	0,119	P19	0,0345					
		Транспортні споруди К4		0,09	P20	0,09						
		0,74	0,09									
			Дорожні інженерні облаштування К5	0,04	P21	0,04						
0,04												
Споруди дорожньої служби К6	0,01		P22	0,01								
0,01												
Об'єкти дорожнього сервісу К7	0,01		P23	0,01								
0,01												
Засоби організації дорожнього руху К8		0,05	P24	0,05								
0,05												

a)

0	1	2	3	4							
Стан автомобільної дороги Кат		Параметри елементів плану та поздовжнього профілю автомобільної дороги K9	Радіус кривих у поздовжньому профілі	0,313		0,0219	Опуклі	0,5	P25	0,0110	
			Радіус кривих у плані	0,319	P27	0,0223	Увігнуті	0,5	P26	0,0110	
Функціональні показники	0,26	0,07	Поздовжній похил ділянки дороги	0,368		0,0258	Ділянки з поздовжнім похилом меншим за поперечний	0,5	P28	0,0129	
							Ділянки з поздовжнім похилом більшим за поперечний	0,5	P29	0,0129	
		Параметри поперечного профілю автомобільної дороги K10	Ширина проїзної частини	0,289	P30	0,0202	Ширина укріпленої смуги	0,5	P31	0,0062	
			Ширина узбіччя	0,177		0,0124	Ширина зупиночної смуги	0,25	P32	0,0031	
		0,07	Поперечний похил проїзної частини	0,186	P34	0,013	Ширина неукріпленої смуги	0,25	P33	0,0031	
			Поперечний похил узбіччя	0,173	P35	0,0121	Ділянки в нульових відмітках	0,33	P36	0,0040	
			Висота / глибина в поперечному профілі	0,175		0,0123	Ділянки - насипами	0,34	P37	0,0042	
		Показники ділянки автомобільної дороги з безпеки дорожнього руху K11					Ділянки - виїмками	0,33	P38	0,0040	
				0,06	P39	0,06					
		Оцінка впливу на навколишнє середовище K12	0,06	Оцінка впливу на навколишнє середовище K12	Забруднення внаслідок транспортних викидів	0,23	P40	0,0138			
					Шумове забруднення	0,2	P41	0,012			
					Освітлення	0,08	P42	0,0048			
Естетичність	0,161				P43	0,0097					
Озеленення	0,164				P44	0,0098					
Поверхнєве водовідведення	0,165				P45	0,0099					

6)

Рисунок 1 – Кваліметрична модель якісного стану автомобільної дороги: а) показники фізичного зносу; б) показники функціонального зносу.

Рівень якісного стану визначається як коефіцієнт :

$$K_{kt} = \sum_{j=1}^2 \left(\sum_{i=1}^{45} P_i \cdot m_i \right) m'_j, \quad (1)$$

де K_{kt} – диференційний відносний показник властивості з коефіцієнтом m'_j ;

P_i – одиничний диференційний показник якісного стану автомобільної дороги;

m_i – коефіцієнт вагомості простих властивостей, що характеризують якісний стан об'єкта оцінки;

m'_j – коефіцієнт вагомості складних (комплексних) властивостей, що характеризують якісний стан об'єкта оцінки, $m'_1 = 0,74$; $m'_2 = 0,26$;

n – кількість показників розглянутого елемента дороги, $\{n \in N\}$;

l – кількість груп показників, $\{l \in N\}$.

В роботі встановлено номенклатуру показників якісного стану ділянки дороги на стадії експлуатації за видами та групами та визначено оптимальне число рівнів кваліметричної моделі вартісної оцінки якісного стану дороги (рис. 1). Вихідними даними для визначення вагомостей вартісним методом є глави зведених кошторисних розрахунків будівництва автомобільної дороги.

Для перетворення якісних ознак об'єкта оцінки були застосовані диференційний та експертний методи. Розроблення концептуальної моделі процедури технічної експертизи базується на результатах натурних досліджень, нормативної бази та даних, отриманих на основі експертного методу. Результати натурних досліджень включали: вимірювання геометричних параметрів ділянки автомобільної дороги, визначення стану покриття та елементів дорожньої конструкції, визначення стану транспортних споруд та ін.

Математичну модель якісного стану ділянки автомобільної дороги можна представити як:

$$K_{kt} = \sum_{j=1}^2 \left(\sum_{i=1}^{45} P_i \cdot m_i \right) m'_j; \quad (1)$$

$$m_i = \left\{ \begin{array}{l} 0,0250; 0,0273; 0,0235; 0,0166; 0,0076; 0,0503; 0,0513; 0,0100; 0,0132; \\ 0,0128; 0,0063; 0,0063; 0,0543; 0,0676; 0,0725; 0,0345; 0,0202; 0,0202; \\ 0,0208; 0,0900; 0,0400; 0,0100; 0,0100; 0,0500; 0,0223; 0,0110; 0,0110; \\ 0,0129; 0,0129; 0,0202; 0,0121; 0,0130; 0,0062; 0,0031; 0,0031; 0,0040; \\ 0,0040; 0,0042; 0,0060; 0,0138; 0,0120; 0,0048; 0,0097; 0,0098; 0,0099 \end{array} \right\}; \quad (2)$$

де $m'_1 = 0,74$; $m'_2 = 0,26$.

Значення коефіцієнта конкордації $K_{\text{кон}} = 0,9944$ свідчить про наявність високого ступеню узгодженості думок експертів, що підтверджує надійність вхідних даних до розробленої кваліметричної моделі. Вагомість дренажних конструкцій та системи поверхневого водовідведення складає 15 % для комплексного показника та 20 % для показника фізичного зносу в порівнянні з дорожнім одягом, який є найбільш вагомим та визначальним при прогнозуванні якісного стану ділянки автомобільної дороги.

На теперішній час існуючі методи визначення параметрів дренажних систем мілкого закладення в дорожній конструкції носять розрізнений характер щодо забезпечення водопропускної спроможності. При усталеному русі фільтраційного потоку в дренавальних шарах з поперечним ДМЗ між прорізами спостерігається депресійна крива з глибиною h та відстані l_1 до нижньої прорізі що знаходиться на відстані l_2 від вище розташованої прорізі (рис. 2).

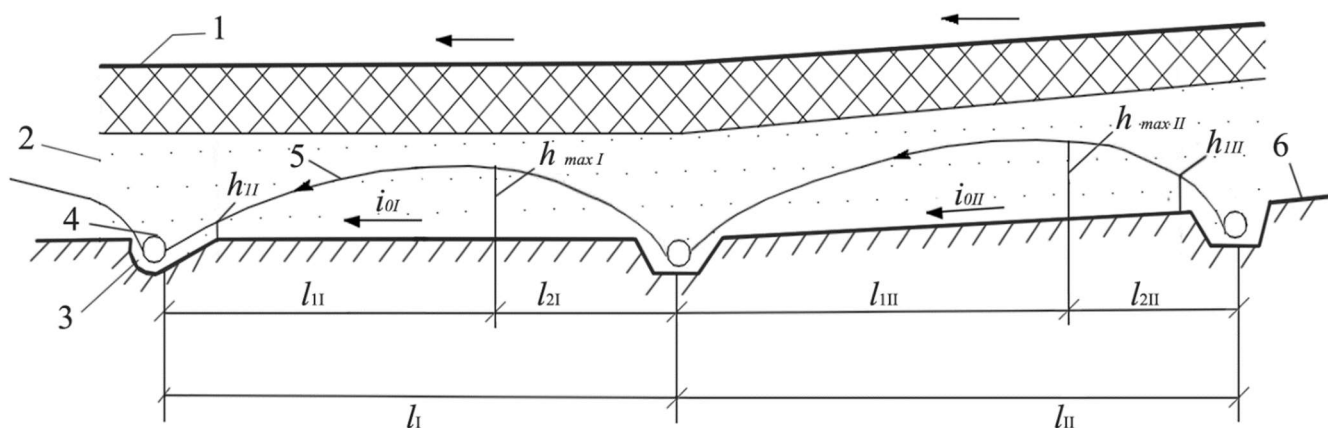


Рисунок 2 – Формування міграції води в дренавальному шарі на ділянці з позовжнім похилом більшим за поперечний: 1 – покриття; 2 – основа; 3 – дренажна траншея; 4 – дренажна труба; 5 – крива депресії; 6 – земляне полотно

У періоди максимального водонасичення глибина фільтраційного потоку підвищується, набуваючи виду кривої спаду з максимальною його глибиною h_{max} . Глибина h_{max} не повинна перевищувати допустимої межі, що залежить від товщини h_0 дренавального шару та якості дренавального матеріалу, щоб попередити перезволоження шарів покриття та утворення деформацій на покритті.

Дренавальний шар під покриттям розмірзається раніше від скидів води з прорізів. Навесні, режим роботи поперечних ДМЗ буде відповідати режиму накопичення та поглинання вологи, що обумовлене збільшенням глибини h_{max} шару вільної води, від якого залежить відстань між дренажними прорізами та, відповідно, витрата води в дренавальних шарах.

Визначення відстані між дренажними прорізами ґрунтується на основному диференційному рівнянні нерівномірного плавнозмінного руху рідини у відкритих руслах:

$$i = \frac{d}{dl} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right) + i_t, \quad (3)$$

де i – похил вільної поверхні потоку,

l – довжина ділянки потоку, м;

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²;

α – коефіцієнт кількості руху потоку, який фізично виражає відношення дійсної кількості руху, підрахованого за місцевими швидкостями до руху, який підраховано за середньою швидкістю за одиницю часу;

i_t – похил тертя.

Похил поверхні потоку i визначається через похил дна русла i_o та похідну від глибини h за відстанню l :

для ділянки русла з прямим похилом дна ($i_o > 0$):

$$i = i_o - \frac{dh}{dl}; \quad (4)$$

для ділянки русла з горизонтальним дном ($i_o = 0$):

$$i = \frac{dh}{dl}; \quad (5)$$

для ділянки русла із зворотнім похилом дна ($i_o < 0$):

$$i = - \left(i_o + \frac{dh}{dl} \right). \quad (6)$$

З урахуванням (3) та (4), основне диференціальне рівняння руслового потоку зі змінними глибиною потоку h на ділянці та довжиною l має такий вигляд:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_o - \frac{Q^2}{K^2} \left(1 - \frac{\alpha C^2 R}{g \omega} \frac{d\omega}{dl} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}}, \quad (7)$$

де Q – загальна витрата потоку;

K – витратна характеристика, що відповідає глибині потоку h при нерівномірному русі, м³/с;

C – коефіцієнт Шезі;

R – гідравлічний радіус потоку, м;

ω – площа живого перетину потоку, м²;

B – ширина потоку, м.

Рівняння (7) отримане за умовою, що α – величина постійна, яка не залежить від глибини та використовується для призматичних русел, де їх форма і розміри не змінюються вздовж потоку, а саме $\frac{d\omega}{dl} = 0$.

Потік ґрунтових вод в дренавальному шарі дорожньої конструкції формується також в призматичному руслі. Фільтраційний потік між дренажними прорізами можна розділити на дві зони (1І та 2І або 1ІІ та 2ІІ, рис. 2), крива поверхні яких (крива депресії) складається з двох кривих спаду. Кожна зона потоку має змінну глибину h та довжину ділянки l , де формується депресивна крива його поверхні, від глибини h_{max} до глибини на вході в дренажну прорізь h_i .

Прийнявши спрощення щодо похилу депресивної кривої фільтраційного потоку в дренавальному шарі $\frac{dh}{dl} = I_{cep}$ та замінивши характеристики K , C , R для відкритого русла на відповідні параметри фільтраційного потоку, отримано рівняння для відстані між дренажними прорізами

$$L_n = \sum_{i=1}^2 l_i ; \quad (8)$$

де довжина l_i зони фільтраційного потоку

- на ділянці дороги з прямим (поздовжнім) похилом ($i_o > 0$):

$$l_i = \sqrt{\frac{i_o - I_{cep}}{\frac{q_p^2}{\Delta h^2} \left(\frac{1}{K_\phi^2} - \frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} \right)}}, \quad (9)$$

- на ділянці дороги зі зворотнім похилом ($i_o < 0$):

$$l_i = \sqrt{\frac{|i_o| + I_{cep}}{\frac{q_p^2}{\Delta h^2} \left(\frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} - \frac{1}{K_\phi^2} \right)}}, \quad (10)$$

де K_ϕ – коефіцієнт фільтрації дренавального шару, м/добу;

I_{cep} – середній похил кривої депресії, залежить від різних типів ґрунту;

q_p – розрахункова витрата фільтраційного потоку, що надходить в дренавальний шар, м³/добу;

ε – коефіцієнт, який враховує утворення в порах дренавального шару застій води;

p – пористість дренавального шару;

$$\Delta h = h_{\max} - h_i.$$

Рівняння з визначення часу водовідведення з дренавального шару, отримано на основі загального рівняння балансу водного потоку

$$\Omega dz = q_p dt - q_{\text{вит}} dt, \quad (11)$$

де $q_{\text{вит}}$ – витрата витоків води, м³/добу;

Ω – площа потоку в плані, м²;

dz – зміна рівня потоку за час dt ,

визначається за залежністю

$$T = -\beta \left(\frac{h_{\max}}{\gamma} - \frac{q_p \ln(h_{\max} \gamma - q_p)}{\gamma^2} \right) + \beta \left(\frac{q_p \ln(-q_p + h_i \gamma)}{\gamma^2} + \frac{h_i}{\gamma} \right), \quad (12)$$

де $\beta = \frac{K_\phi}{L_n} \left(1 - \frac{\psi K_\phi I_{\text{сеп}}}{d_e^2} \right)$ на 1 м по ширині потоку;

$$\gamma = l_{\text{тр}} K_{\phi \text{ тр}} i_{\text{тр}} \left(1 - \frac{\psi K_\phi I_{\text{сеп}}}{d_e^2} \right);$$

ψ – параметр, який залежить від типу матеріалу наповнювача траншеї;

d_e – еквівалентний діаметр зерен матеріалу наповнювача траншеї;

$l_{\text{тр}}$ – довжина траншеї, м;

$K_{\phi \text{ тр}}$ – коефіцієнт фільтрації матеріалу наповнювача траншеї, м/добу;

$i_{\text{тр}}$ – похил траншеї.

Для отримання однозначного розв'язку розглядуваної задачі, а саме визначення відстані між дренажними прорізами та часу водовідведення з дренавального шару сформульовані початкові та межові умови.

Для умов І-ї дорожньо-кліматичної зони України, в межах якої має місце максимальний загальний питомий надлишок води, що надходить в дренажну конструкцію, визначено відстань між дренажними прорізами для піщаного дренавального шару з коефіцієнтом фільтрації 4,5 м/добу, яка складає 40 м. Розраховано час водовідведення при загальному питомому надлишку 25 л/добу на 1 м², що складає 1,5 доби.

У третьому розділі представлено моделі тривимірних дорожніх конструкцій з трубчастим ДМЗ методом скінченних елементів (МСЕ). Для створення розрахункових моделей елементів автомобільної дороги обрано ПРК SCAD Office, який призначений для числового моделювання з визначення міцності і стійкості широкого класу конструкцій об'єктів будівництва, розрахунку НДС від статичних і динамічних дій. Числові експериментальні дослідження проводилися для ДК

автомобільних доріг III категорії, протяжність яких є найбільшою по Україні. Було обрано схеми моделей типової ДК та ДК, послабленої трубчастою дренажною, з узбіччям і укосом, похилом 1:1,5. Трубчасті дрени повинні працювати в безнапірному режимі в робочій зоні ЗП, яка сприймає подвійне навантаження від власної ваги, від ущільнюючих засобів на етапі будівництва та від ТЗ на етапі експлуатації. Побудова скінчено-елементних сіток обумовлена розмірами штампу вальця або пневмошини дорожнього котка та колеса автомобіля за статичним навантаженням.

В процесі влаштування шарів ДО, основне навантаження на дренавальний шар здійснюють дорожні котки, тому основною задачею є визначення технологічних умов, за якими забезпечується цілісність трубчастих дрена з різних матеріалів (бетонна труба та труба ПВХ – діаметром 120 мм). В якості матеріалів для піщаного дренавального шару було використано середньозернистий пісок, а для щебеневого – щебінь, фр. 20–40 мм.

Для дослідження НДС нетипових дорожніх конструкцій з дренавальним шаром та трубчастими дренами (без шарів ДО) було проведено серію числових експериментів, які включали зміну нормативного навантаження, що відповідає реальним умовам роботи дорожніх машин на етапі будівництва дороги. Зміна навантаження обумовлена технологією влаштування дренавальних шарів. Товщину влаштування дренавальних шарів було визначено з урахуванням коефіцієнта ущільнення, відповідно для кожного з матеріалів.

Відповідно до технологічних вимог, при влаштуванні дренавального шару з середньозернистого піску необхідно використовувати пневмокотки, модифікації яких наведено у табл. 1, а дренавального шару зі щебеню – гладковальцеві котки (табл. 2). Ефект ущільнення піщаного дренавального шару залежить від розмірів поверхні контакту шини з ґрунтом, оптимальної товщини шару та тиску на цій контактній поверхні (табл. 3). В межах оптимальних товщин шарів, що ущільнюються, одна і та ж щільність матеріалу може бути досягнута укочуванням його легким і важким катком.

Знизити максимальні контактні тиски при незмінному навантаженні на колесо можна шляхом значного збільшення тиску в шинах, в результаті якого зім'яття шин, як правило, перевершить допустимі межі, що призведе до значного їх зносу. Тому попереднє ущільнення ґрунтів слід вести більш легким катком. Однак поступове підвищення тиску повітря в шинах як при укатці, так і при остаточному ущільненні сприяє формуванню щільної і міцної структури шару ДО.

Максимальні тиски повітря в шинах котків, які відповідають кінцю процесу ущільнення, повинні бути найбільш близькими до меж міцності ґрунтів в їх щільному стані.

Зі збільшенням тиску в шинах котка стає більшою глибина колії та меншою площа відбитку. Тому початкове ущільнення дренавального шару з середньозернистого піску виконують з мінімально допустимим тиском в шинах середнього котка. Зі збільшенням кількості проходів котка зростає тиск в колесах і, відповідно, тиск на поверхню.

Таблиця 1 – Параметри пневмокатків

Тип катка	Вага катка, т	Кількість коліс, од	Навантаження на колесо, кг	Ширина колеса, м	Тиск в шинах фактичний, МПа		Сила, з якою колесо діє на поверхню, Н	Площа відбитку колеса катка, м ²	
					мінімальний	максимальний		за мінімального тиску	за максимального тиску
ДУ-31А	16	7	2285,714	0,32	0,3	0,55	22422,857	0,075	0,041
ДУ-29	30	7	4285,714	0,37	0,35	1	42042,857	0,120	0,042

Для моделювання впливу дорожніх катків на НДС щибенового дренавального шару з трубчастою дреною було обрано два типи катків з гладкими вальцями.

Таблиця 2 – Параметри катків з гладкими вальцями

Тип катків	Вага катка, т	Кількість вальців, од	Статичне лінійне навантаження, кг/см	Ширина вальця, м	Діаметр вальця, см	Навантаження на валець, кг	Сила, з якою валець діє на поверхню, Н
САТ 8	8,070	2	26,9	1,5	110,8	4035,0	39543
САТ 13	13,2	2	33	2	130,0	6600,0	64680

Таблиця 3 – Технологічні параметри для ущільнення піщаного дренавального шару

Тип катка	b, розрахункова ширина штампа, м		a, розрахункова довжина штампа за мінімального тиску, м		a, розрахункова довжина штампа за максимального тиску, м		S, за мінімального тиску, м ²	S, за максимального тиску, м ²
	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)
ДУ-31А	0,208	0,24	0,3593	0,3114	0,1960	0,1698	0,0747	0,0407
ДУ-29	0,2405	0,2775	0,4994	0,432	0,1748	0,1515	0,1201	0,0420

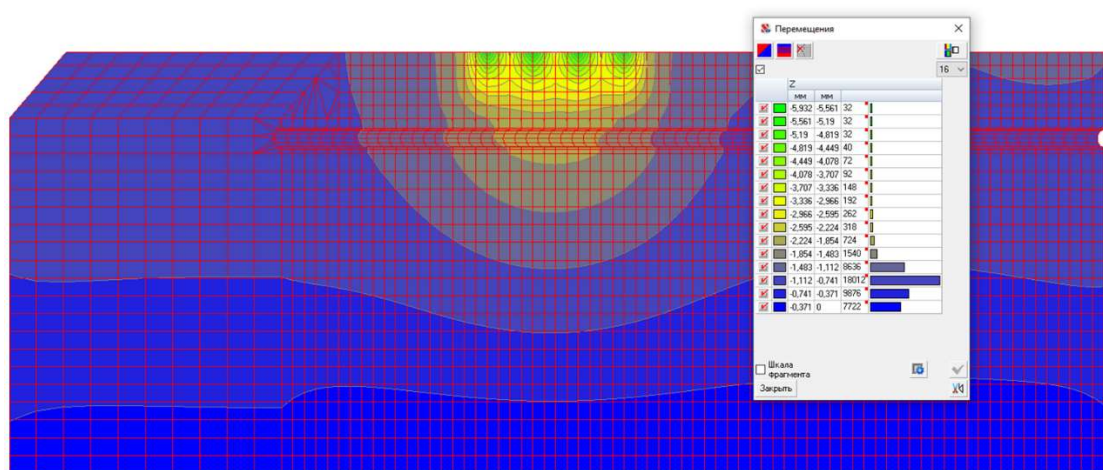
Глибина активної зони ущільнення і оптимальна товщина шару ґрунту в рівній мірі залежать від лінійного тиску і радіусу вальця катка, тому раціонально використовувати катки з великим діаметром вальців. Глибина активної зони при укоченні дорівнює приблизно двом діаметрам штампа або подвоєному мінімальному поперечному розміру поверхні контакту катка з ґрунтом. Активна зона – це обмежений за глибиною шар ґрунту, нижче якого ущільнення під дією власної ваги вже настільки велике, що тиск від зовнішнього навантаження не може його збільшити. Для проведення числових досліджень були визначені технологічні параметри для ущільнення щибенового дренавального шару, які наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Технологічні параметри для ущільнення щебеневого дренавального шару

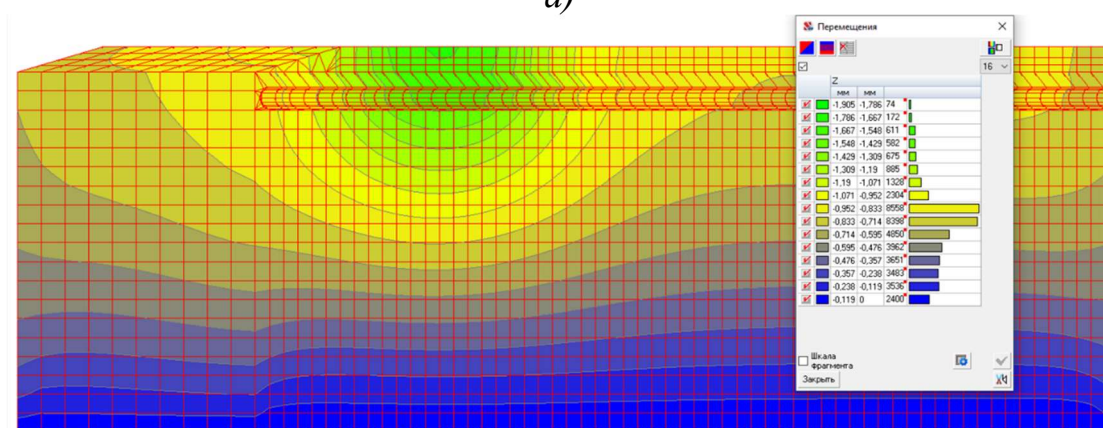
Тиск вальця на поверхню шару, що ущільнюється, МПа	a, розрахункова довжина штампа, см			S, розрахункова площа штампа, м ²		
	при h=1 см	при h=2 см	при h=3 см	при h=1 см	при h=2 см	при h=3 см
0,12	20	40	40	0,32	0,44	0,56
0,14	20	40	40	0,46	0,64	0,8

Для кожного типу трубчастих дренажів визначено загальний розподіл нормальних напружень N_z та деформацій Z під впливом навантаження від дорожніх котків в ДК, яка послаблена трубчастою дренаєю, з щебеневим та піщаним дренавальними шарами.

Розподіл деформацій Z (мм) ДК з дренавальним шаром та трубчастими дренами (без шарів ДО) в поперечному перерізі представлено на рис.3.



а)

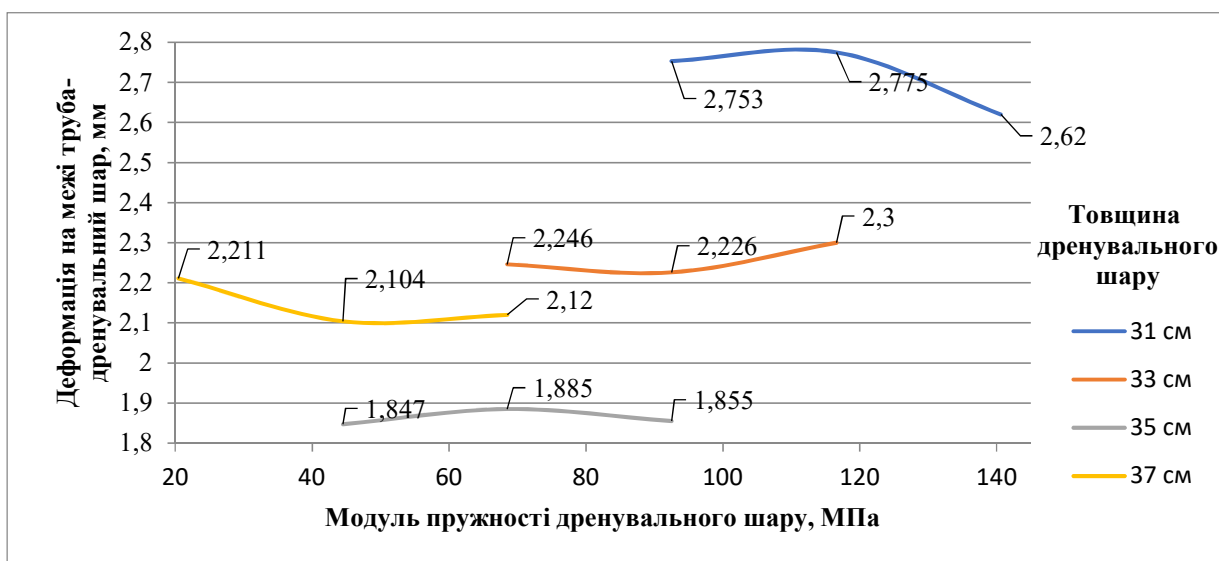


б)

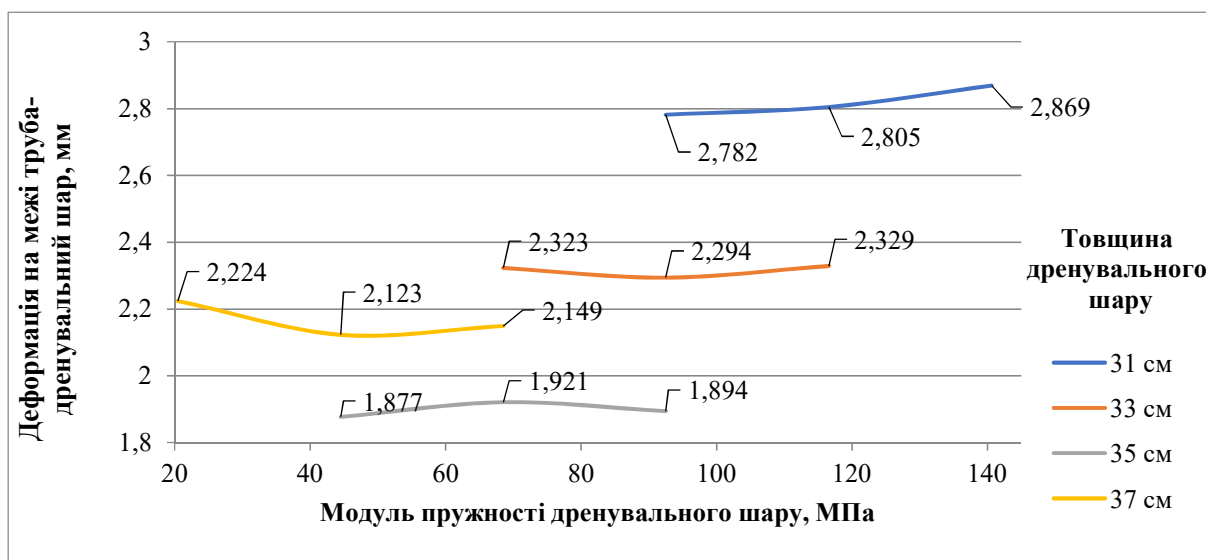
Рисунок 3 – Розподіл деформацій Z (мм) на стадії будівництва в ЗП з трубою ПВХ в об'ємних елементах під впливом навантаження: а – від середнього котка при ущільненні піщаного дренавального шару з модулем пружності 20,45 МПа; б – від легкого котка, при ущільненні щебеневого дренавального шару з модулем пружності 181,8 МПа

Зміна деформацій Z на межі труба – піщаний дренавальний шар, в залежності від зміни модуля пружності наведено на рис. 4, а на межі труба – щебеневий дренавальний шар – на рис. 5.

На наступному етапі числових експериментальних досліджень було визначено розподіл нормальних напружень та деформацій в ДК з дренавальним шаром та з наявністю трубчастих дрена під ним, від дії власної ваги та від великовагових ТЗ. Моделювання проводилося для трьох варіантів ДК: з дренавальним шаром та з наявністю трубчастих дрена під ним двох класів труб. В результаті числового моделювання трьох варіантів ДК (без трубчастої дрена, з трубчастою дренаю класу SN2 та SN8) визначили відповідні деформації під дренавальним шаром, а для трубчастих дрена SN2 та SN8 безпосередньо деформації труб для різних значень навантажень, що відповідають реальним умовам експлуатації.

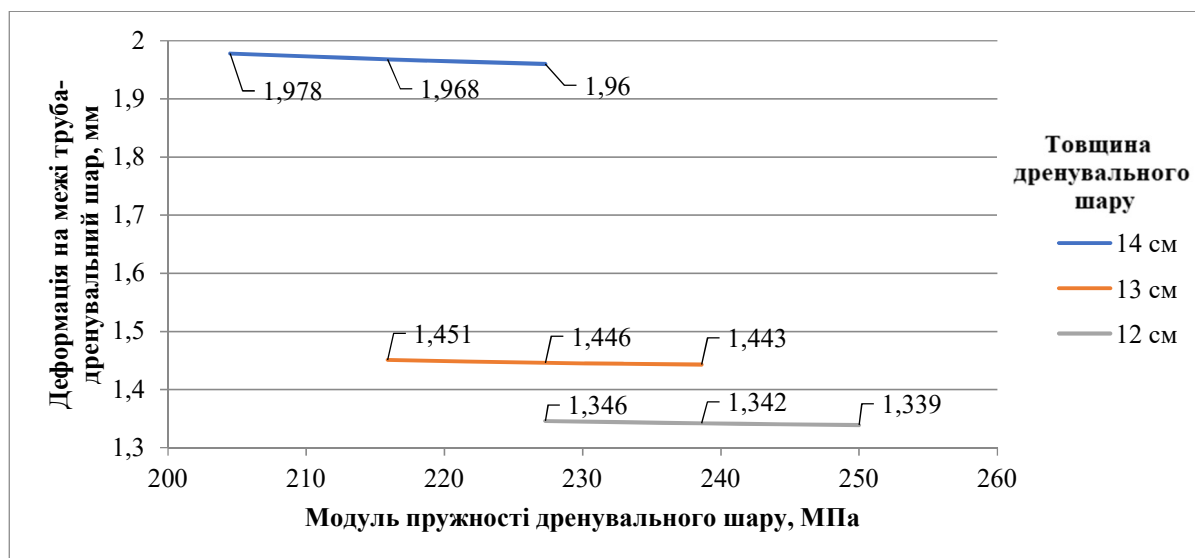


а)

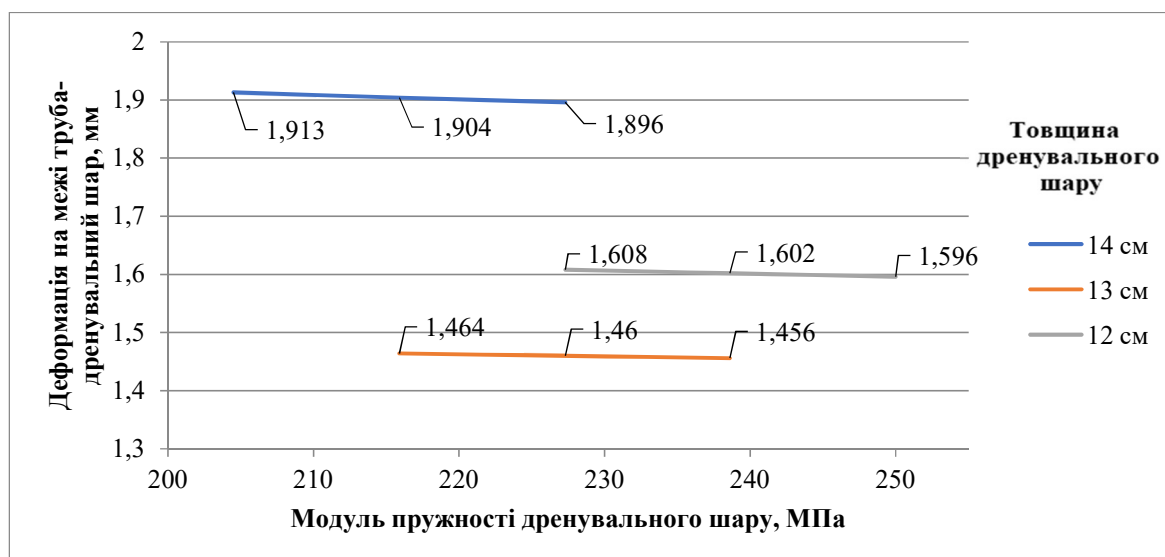


б)

Рисунок 4 – Залежність деформацій Z від модуля пружності піщаного дренавального шару: а – з бетонною трубою; б – з трубою ПВХ



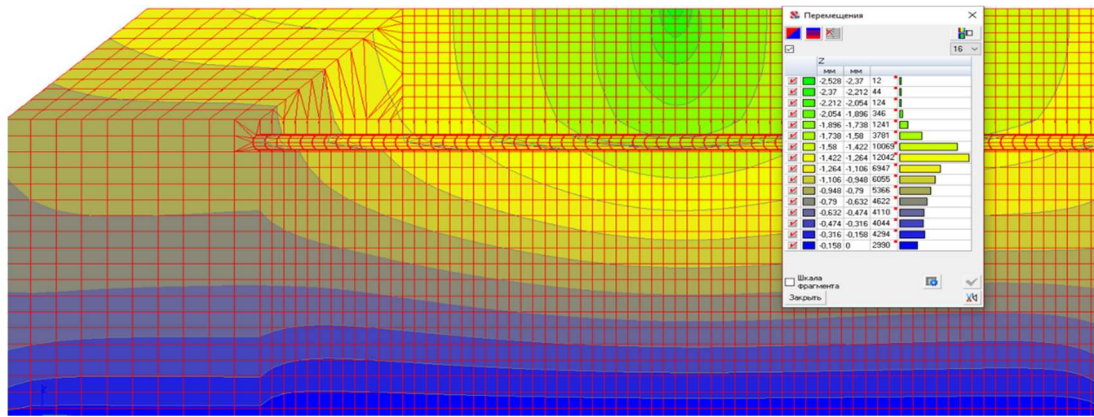
а)



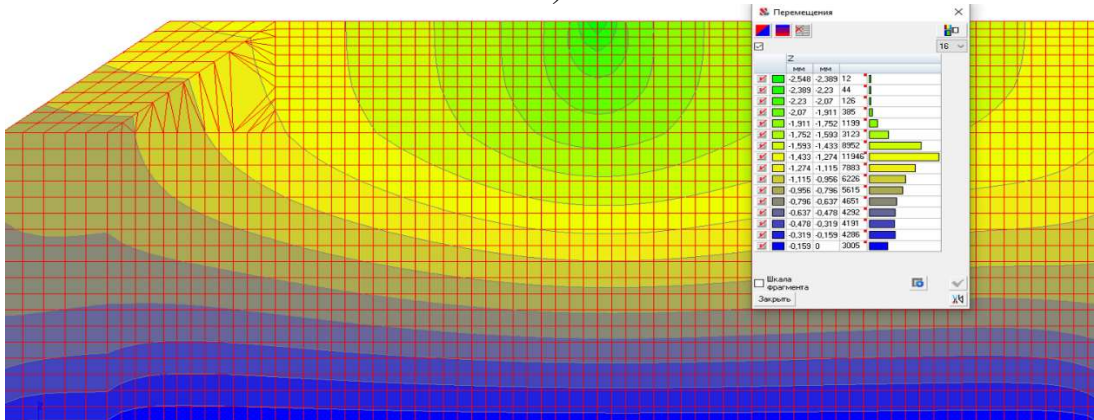
б)

Рисунок 5 – Залежність деформацій Z від модуля пружності щебеневого дренувального шару: а – з бетонною трубою; б – з трубою ПВХ

За результатами цих експериментів були отримані деформації для першої конструкції – під дренувальним шаром, для другої і третьої – безпосередньо в трубі. На прикладі дороги III-ї категорії при навантаженні на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля 57,5 кН (рис.6) та 86,25 кН. Порівняння деформацій свідчить про те, що наявність труб призводить до збільшення деформації і обумовлює використання труб за більш високим класом міцності (рис.7).



а)



б)

Рисунок 6 – Розподіл деформацій Z (мм) в ДК від дії навантаження 57,5 кН: а – з трубою ПВХ SN8; б – без труби (типова конструкція)

Для визначення послаблюючої дії від наявності в ДК дренавальних шарів з трубчастими дренами було проведено порівняння з типовими конструкціями.

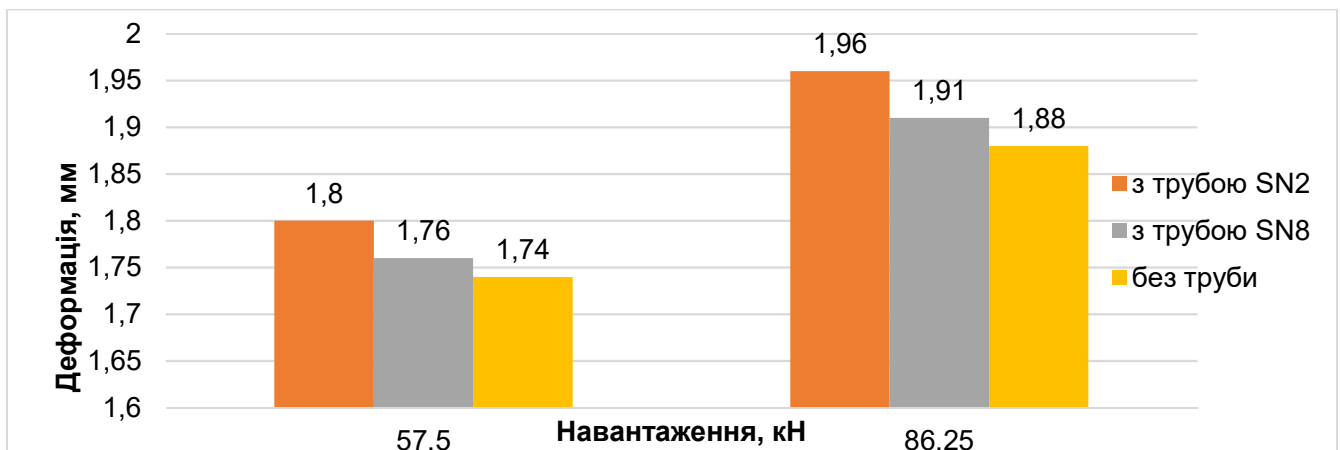


Рисунок 7 – Розподіл деформацій Z в ДК з різними класами труб ПВХ та без них

Вище наведений аналіз обумовлює актуальність та необхідність проведення експериментальних досліджень з визначення ефективності роботи дренажних конструкцій мілкового закладання на етапі будівництва під впливом дії дорожніх машин.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень роботи поперечних дренажів мілкового закладання. Експериментальні дослідження проводилися в навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету на спеціальній моделюючій установці ДК. Параметри установки відповідають одному погонному метру ДК (половині поперечного профілю) відповідно до реальних натурних умов для доріг III категорії. Установка має розмір 1,0 м × 4,0 м × 1,5 м. Передня стінка корпусу установки влаштована з органічного скла, що дає змогу безпосередньо спостерігати за формуванням фільтраційного потоку в дренажній траншеї. Експериментальні дослідження проводилися за наступними етапами:

- дослідження формування фільтраційного потоку в дренажній траншеї та інтенсивності її водовідведення без та під впливом вібрації;
- дослідження режимів роботи дренавальних шарів з двох типів матеріалів.

Конструкції експериментальної установки з поперечним дренажем мілкового закладання (ПДМЗ) наведені на рис. 8.

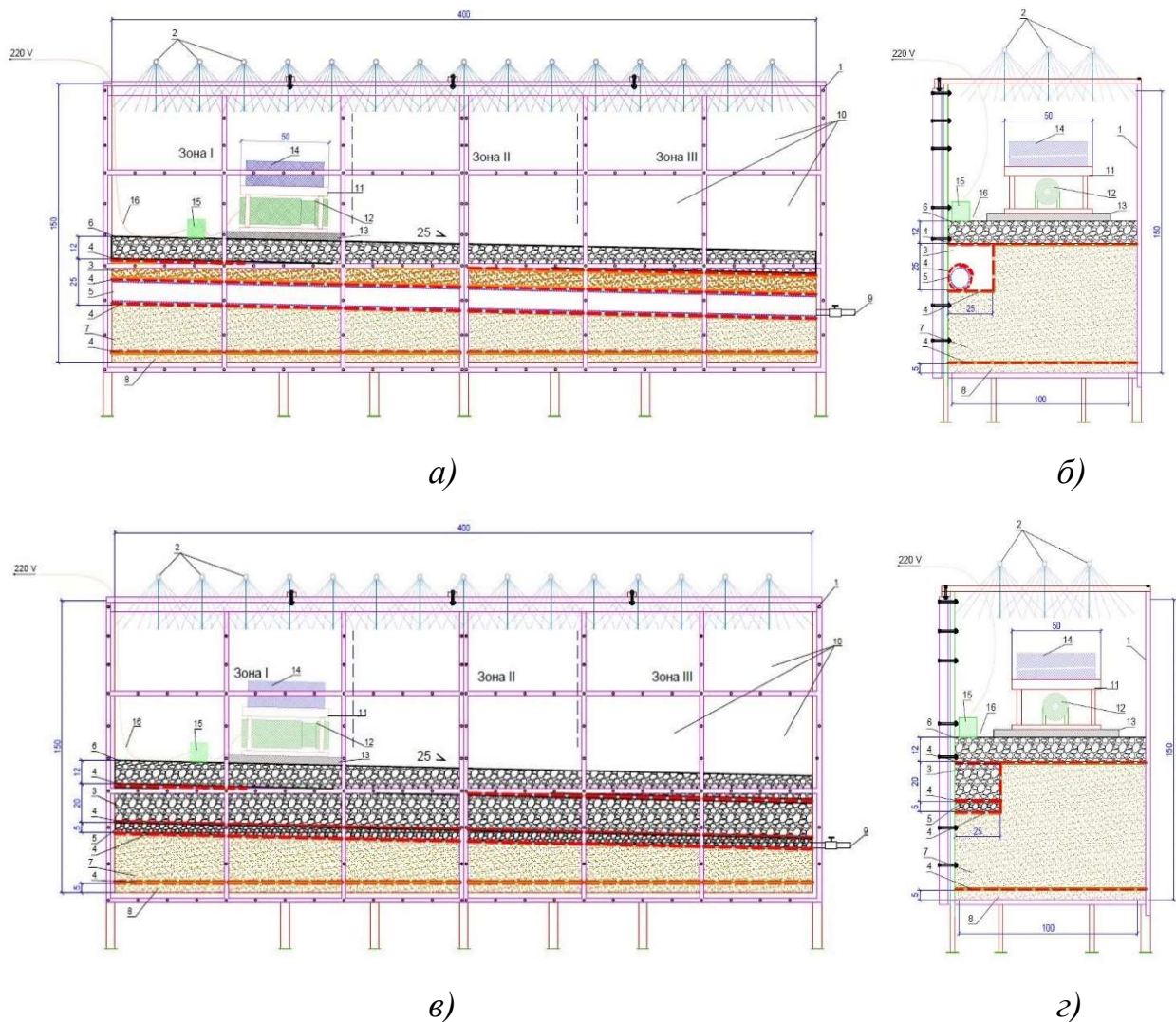


Рисунок 8 – Конструкції експериментальних установок: з ПДМЗ № 1 із труби ПВХ, де *а* – бокова площина, *б* – торцева площина; з ПДМЗ № 2 зі щебеневого ядра, де *в* – бокова площина; *г* – торцева площина

Умовні позначки ПДМЗ № 1: 1 – корпус експериментальної установки; 2 – система імітації

дощових опадів; 3 – заповнювач дренажної траншеї – кварцовий митий пісок фракції від 2 мм до 3 мм; 4 – прошарок ГСМ; 5 – дренажна труба ПВХ діаметром 100 мм з отворами; 6 – дренавальний шар – митий щебінь фракції від 20 мм до 40 мм; 7 – ґрунт – супісок пилюватий; 8 – шар дрібнозернистого піску; 9 – відвідний отвір (кран); 10 – передня стінка корпусу експериментальної установки з оргскла; 11 – корпус УІВ від ТЗ; 12 – електродвигун ексцентричний ИВ-01-50Е; 13 – демпферний прошарок з гуми; 14 – навантаження на УІВ; 15 – прилад для регулювання обертів електродвигуна 12; 16 – провід для під'єднання до мережі 220 В.

Умовні позначки ПДМЗ № 2 ті самі, крім: 3 – заповнювач дренажної траншеї – митий щебінь фракції від 20 мм до 40 мм; 4 – прошарок ГСМ; 5 – заповнювач дренажної траншеї – митий щебінь фракції від 5 мм до 10 мм; 6 – дренавальний шар – митий щебінь фракції від 20 мм до 40 мм.

На основі отриманих експериментальних даних було побудовано кореляційне поле між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування для кожної з досліджуваних дренавальних установок. На рис. 9 наведено кореляційне поле між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування для ПДЗМ № 1 з трубою ПВХ.

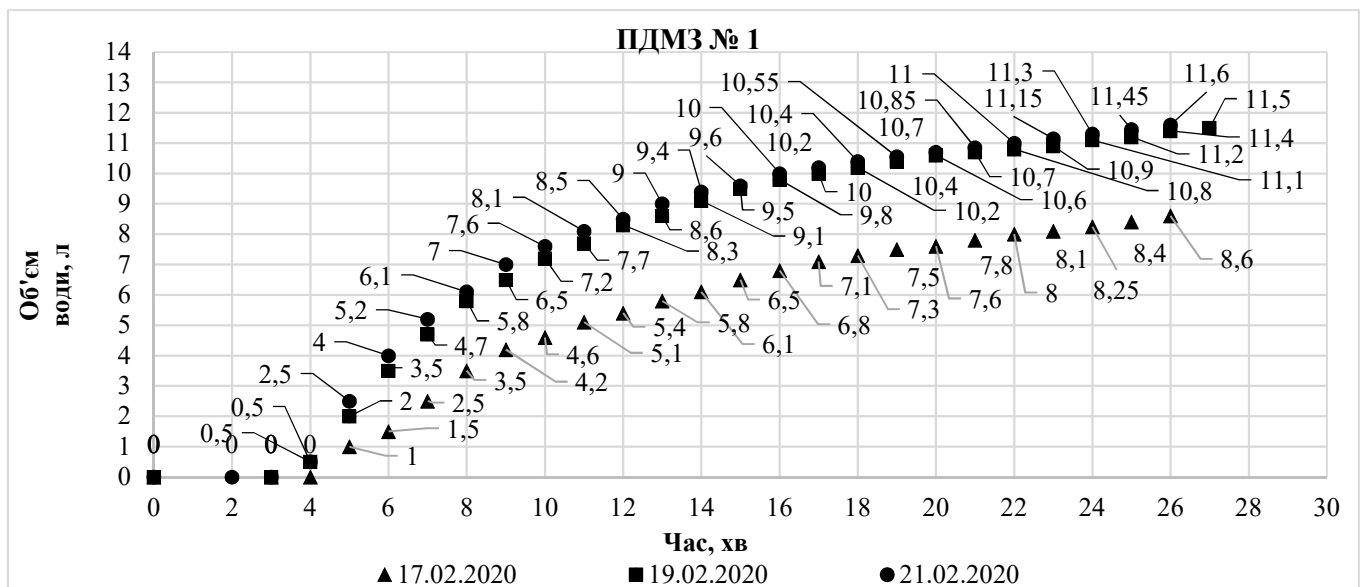


Рисунок 9 – Кореляційне поле між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування за даними експериментальних вимірювань для ПДМЗ № 1 (17.02.2020; 19.02.2020; 21.02.2020 – дати проведення досліджень)

Під час проведення експерименту для ПДМЗ № 1 було виявлено, що після того, як водний потік сформувався в траншеї і основну частину води було відведено, ПДМЗ № 1 ще протягом 3-ох годин продовжувала відводити воду у формі крапель.

На рис. 10 наведено кореляційне поле між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування для ПДЗМ № 2 з щебеневого ядра.

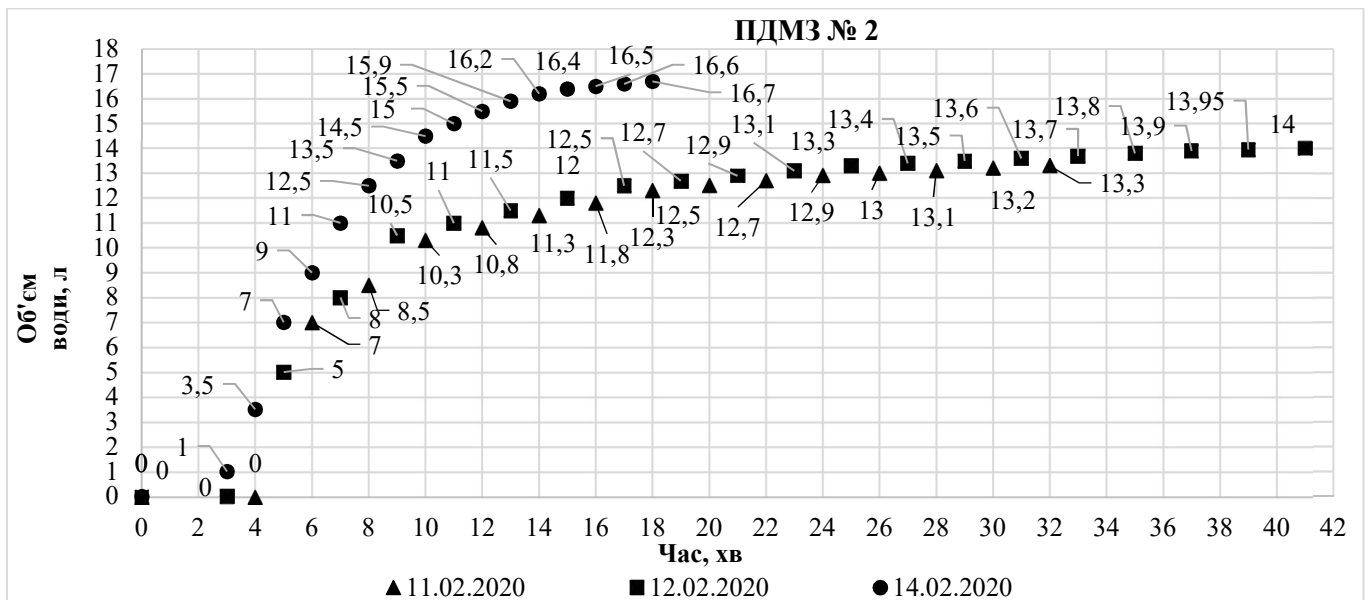


Рисунок 10 – Кореляційне поле між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування за даними експериментальних вимірювань для ПДМЗ № 2 (11.02.2020; 12.02.2020; 14.02.2020 – дати проведення досліджень)

Під час проведення експерименту було виявлено, що для ПДМЗ № 2 водний потік сформувався в траншеї майже одразу після закінчення надходження води. Час сформованого потоку збігається із загальним часом відведення води.

За результатами представлених досліджень отримано рівняння кореляційно-регресійного моделей в комплексі з поліноміальними залежностями для двох типів дренажних конструкцій без впливу вібрації, які наведені в табл. 5. Аналіз кореляційних полів між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування для досліджуваних конструкцій ПДМЗ, отриманий на основі експериментальних даних (рис. 9, 10), дає змогу висунути гіпотезу про наявність кореляційного або функціонального зв'язку між цими двома величинами.

Також без впливу вібрації досліджувалась робота двох типів дренажних конструкцій: з щебеним та піщаним шарами, з коефіцієнтами фільтрації, відповідно, 100 м/добу та 4,5 м/добу. Режим роботи двох типів дренажних конструкцій мілкового закладання, згідно результатів експериментальних досліджень, відрізнявся між собою: дренавальний шар з митого щебеню, фр. 20–40 мм, мав середню інтенсивність водовідведення 0,0645 л/хв, а шар з середньозернистого піску – 0,0029 л/хв. Інтенсивність водовідведення дренавального шару з середньозернистого піску, під час сформованого потоку, при 23 % відведеної води, становить 0,7188 л/хв., а зі щебню при 42,5% – 0,4038 л/хв. за умови, що кількість води, яка надійшла в піщаний шар в чотири рази більше за об'єм, який надійшов в щебений. Дренажна конструкція мілкового закладання з піщаним шаром розглядалася, як конструкція, що працює за принципом осушення, а фактично працювала за принципом поглинання.

Моделювання впливу вібрації від дії ТЗ засновано на показнику вібропереміщення, оскільки в реальних умовах практично неможливо визначити значення швидкості та прискорення вібрації, тому на реальних об'єктах

вимірювалося значення вібропереміщення, яке було основою для моделювання цього процесу. З цією метою була розроблена та побудована установка імітації вібрації (рис. 8.).

Співставлення результатів експериментальних досліджень свідчить про те, що вібрація не впливає на інтенсивність водовідведення в ПДМЗ №1 та призводить до її збільшення на 12 % в ПДМЗ №2 (рис. 11)

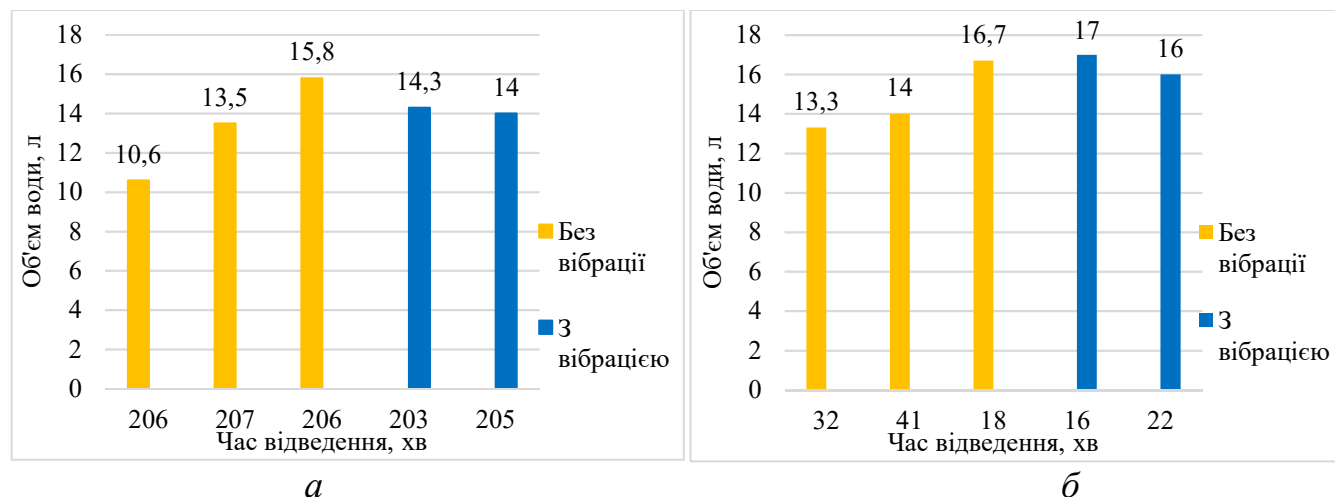


Рисунок 11 – Результати відведення води конструкціями ПДМЗ: а – конструкція ПДМЗ №1; б – конструкція ПДМЗ №2

Виконавши розрахунки із використанням даних експериментальних досліджень були отримані такі результати кореляційно-регресійного аналізу відповідно до табл. 5.

Таблиця 5 – Результати кореляційно-регресійного аналізу експериментальних даних

Номер експерименту	Рівняння кореляційно-регресійної моделі	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації	Значення критерію Фішера при $\alpha = 0,05$	
				Критичне значення	Фактичне значення
Конструкція ПДМЗ № 1 (без впливу вібрації)					
Експеримент 1 ($W_{3П}=11,4\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,356 - \frac{1,3924}{t}$	0,9325	0,8809	4,3009	162,72
Експеримент 2 ($W_{3П}=11,3\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4958 - \frac{1,8178}{t}$	0,9674	0,9358	4,3009	320,83
Експеримент 3 ($W_{3П}=11\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,5064 - \frac{1,82}{t}$	0,9746	0,9498	4,3009	416,24
Конструкція ПДМЗ № 1 (з вібрацією)					
Експеримент 4 ($W_{3П}=12\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4766 - \frac{1,929}{t}$	0,9876	0,9754	5,5914	277,1
Експеримент 5 ($W_{3П}=10,9\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4998 - \frac{2,0083}{t}$	0,9938	0,9877	5,5914	563,14

Конструкція ПДМЗ № 2 (без впливу вібрації)					
Експеримент 6 ($W_{3П}=13,6\%$)	$Q(t) = 0,6159 - \frac{2,2944}{t}$	0,9905	0,981	4,6672	671,81
Експеримент 7 ($W_{3П}=13,1\%$)	$Q(t) = 0,6052 - \frac{1,8677}{t}$	0,9971	0,9942	4,4139	3111,14
Експеримент 8 ($W_{3П}=13\%$)	$Q(t) = 0,8158 - \frac{2,5108}{t}$	0,9916	0,9832	4,6001	821,19
Конструкція ПДМЗ № 2 (з вібрацією)					
Експеримент 9 ($W_{3П}=13\%$)	$Q(t) = 0,8706 - \frac{2,6429}{t}$	0,9984	0,9968	5,98	1894,641
Експеримент 10 ($W_{3П}=12,5\%$)	$Q(t) = 0,7753 - \frac{2,7318}{t}$	0,9902	0,9805	4,4139	904,4564

Відповідно до отриманих даних побудовані числові залежності інтенсивності водовідведення за різних значень вологості ЗП (рис 12).

Аналіз графіків (рис. 12) показав, що за одних і тих же значень часу водовідведення для конструкції ПДМЗ № 1 кількість відведеної води приблизно співпадає (в межах 2 % – 3 %), а у випадку конструкції ПДМЗ № 2 – її різниця є більш суттєвою (в межах 25 %). Це пояснюється тим, що наповнювач траншеї в конструкції ПДМЗ № 2 має пористу контактну структуру.

Таким чином було отримано узагальнені кореляційно-регресійні залежності для визначення інтенсивності водовідведення для кожної із дренавальних конструкцій:

Для конструкції ПДМЗ № 1, без вібрації:

$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,3887}{t} - 0,1367 \right) \cdot W_{3П} - \frac{6,0571}{t} + 1,9967; \quad (13)$$

з вібрацією:

$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,1133}{t} - 0,0331 \right) \cdot W_{3П} - \frac{3,1865}{t} + 0,8445. \quad (14)$$

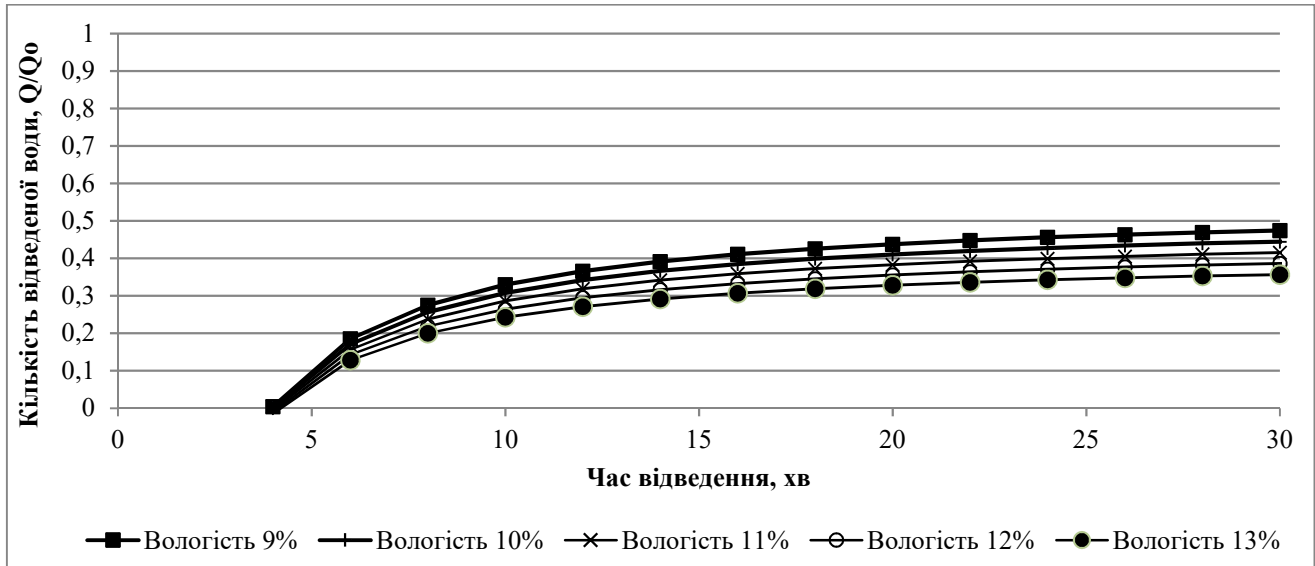
Для конструкції ПДМЗ № 2, без вібрації:

$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,2543}{t} - 0,0965 \right) \cdot W_{3П} - \frac{5,3857}{t} + 1,9059; \quad (15)$$

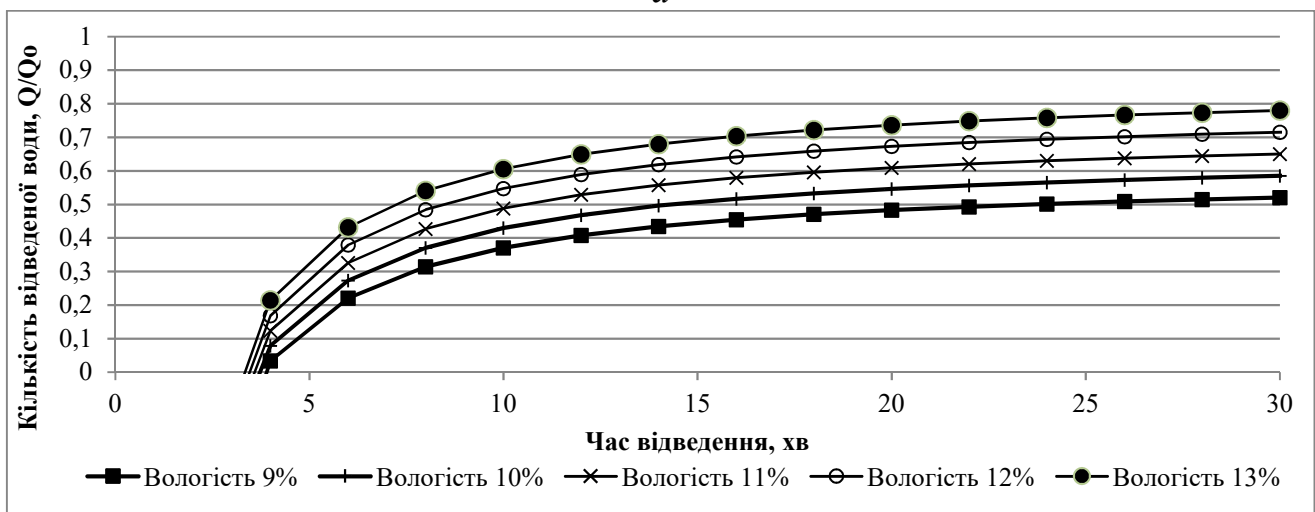
з вібрацією:

$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,0523}{t} + 0,0561 \right) \cdot W_{3П} - \frac{3,3227}{t} + 0,1418, \quad (16)$$

де $W_{3П}$ – початкова вологість ЗП.



a



б

Рисунок 12 – Часові залежності інтенсивності водовідведення за різної вологості ЗП під впливом вібрації: *a* – конструкція ПДМЗ № 1; *б* – конструкція ПДМЗ № 2

Аналіз експериментальних досліджень дає змогу зробити висновок про те, що конструкція зі щебеневим ядром відводить більшу кількість води в середньому на 10 % без впливу вібрації, та на 14 % більше під впливом вібрації, за часом, відповідно, в 7 та 11 разів швидше, ніж конструкція з трубчастою дренаю. Це дає підставу стверджувати про її більш високу ефективність роботи. Однак, порівнюючи відповідні типи конструкцій між собою без дії вібрації та з нею, можна дійти висновку, що процес вібрації суттєво впливає на замулювання шару геосинтетичного матеріалу в конструкції траншеї і, відповідно, на довговічність її роботи, що

обумовлює дотримання нормативних вимог щодо використання матеріалів-наповнювачів з мінімальною кількістю пиловатих частинок.

У п'ятому розділі наведено основні принципи проектування оптимальних дренажних конструкцій. Для визначення оптимальної конструкції з ПДМЗ у комплексі з дорожнім одягом розглянемо конструкції, що характеризуються певним набором критеріїв, за якими необхідно їх оцінити та обрати оптимальну. Ці критерії умовно можна поділити на дві групи: кошторисну вартість конструкції та техніко-технологічні параметри, що характеризують ефективність її роботи.

ДК з однаковими коефіцієнтами запасу міцності можуть мати різні дренажні властивості. Це, в свою чергу, обумовлює відмінність в зведених витратах. Суму зведених витрат по кожному варіанту обчислюють за формулою:

$$C = C_{\text{пдмз}} + C_{\text{до}}, \quad (17)$$

де C – зведені витрати на будівництво дорожнього одягу з дренажем, грн;

$C_{\text{пдмз}}$ – розраховані за кошторисом витрати на влаштування відповідної конструкції ПДМЗ, грн;

$C_{\text{до}}$ – розраховані за кошторисом витрати на влаштування дорожнього одягу, грн.

Пошук оптимальної ДК з ПДМЗ зводиться до мінімізації наступної цільової функції:

$$F(C_i, Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}}, \quad (18)$$

де n – кількість конструкцій ПДМЗ, прийнятих до порівняння;

C_i – кошторисна вартість i -ої конструкції ПДМЗ;

P_{ij} – значення j -го техніко-технологічного параметра для i -ої конструкції ПДМЗ.

Виходячи з типу зволоження робочого шару ЗП, ґрунтово-гідрологічних і кліматичних умов, рельєфу місцевості, наявності дорожньо-будівельних матеріалів призначають варіанти дренажних конструкцій. Перед призначенням типу ПДМЗ у ДК попередньо розраховують ДО на міцність та морозостійкість. Призначення варіанту ПДМЗ закінчується визначенням необхідної товщини ДО, отриманої розрахунком на міцність та морозостійкість.

Оцінку сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу конструкцій ПДМЗ проводять методом колективної експертної оцінки. У рамках даного підходу до анкетування залучають провідних експертів у галузі дорожнього будівництва. Запропонований метод до визначення оптимальної ДК можна використовувати для будь-яких варіантів ДО та дренажних споруд.

Для порівняльної оцінки та пошуку оптимуму, як приклад, було прийнято вісім ДК, що характеризувалися різними техніко-технологічними параметрами та мали різну кошторисну вартість (табл. 6). ДК склалися з чотирьох типів дорожнього одягу та двох конструкцій ПДМЗ.

Таблиця 6 – Техніко-технологічні параметри ДК

Номер конструкції	Вартість, грн	Середньозважений коефіцієнт фільтрації, м/добу	Середня інтенсивність водовідведення, л/хв.	Модуль пружності, МПа
ДК № 1	3850	63,1	0,42	399
ДК № 2	3023	63,1	0,77	399
ДК № 3	3753	71,9	0,42	399
ДК № 4	2926	71,9	0,77	399
ДК № 5	3558	7,0	0,42	347
ДК № 6	2731	7,0	0,77	347
ДК № 7	3745	31,0	0,42	344
ДК № 8	2918	31,0	0,77	344

Значення різних критеріїв мали різний порядок, тому їх було пронормовано, поділивши кожен критерій на його максимальне значення відповідно до табл. 6. Розраховані критеріїв та значення цільової функції для ДК з ПДМЗ наведені у табл. 7.

Таблиця 7 – Визначення критеріїв та значень цільової функції для ДК з ПДМЗ

Конструкція	Вартість	Коефіцієнт фільтрації	Коефіцієнт інтенсивності водовідведення	Модуль пружності	Сума техніко-технологічних показників	Значення цільової функції
		Коефіцієнти вагомості				
		0,288	0,316	0,396		
ДК № 1	1,000	0,253	0,172	0,396	0,821	1,218
ДК № 2	0,785	0,253	0,316	0,396	0,964	0,814
ДК № 3	0,975	0,288	0,172	0,396	0,856	1,138
ДК № 4	0,760	0,288	0,316	0,396	1,000	0,760
ДК № 5	0,924	0,028	0,172	0,344	0,545	1,697
ДК № 6	0,709	0,028	0,316	0,344	0,688	1,031
ДК № 7	0,973	0,124	0,172	0,341	0,638	1,525
ДК № 8	0,758	0,124	0,316	0,341	0,781	0,970

Порівняння вартості за значень цільової функції представлено на рис. 13.

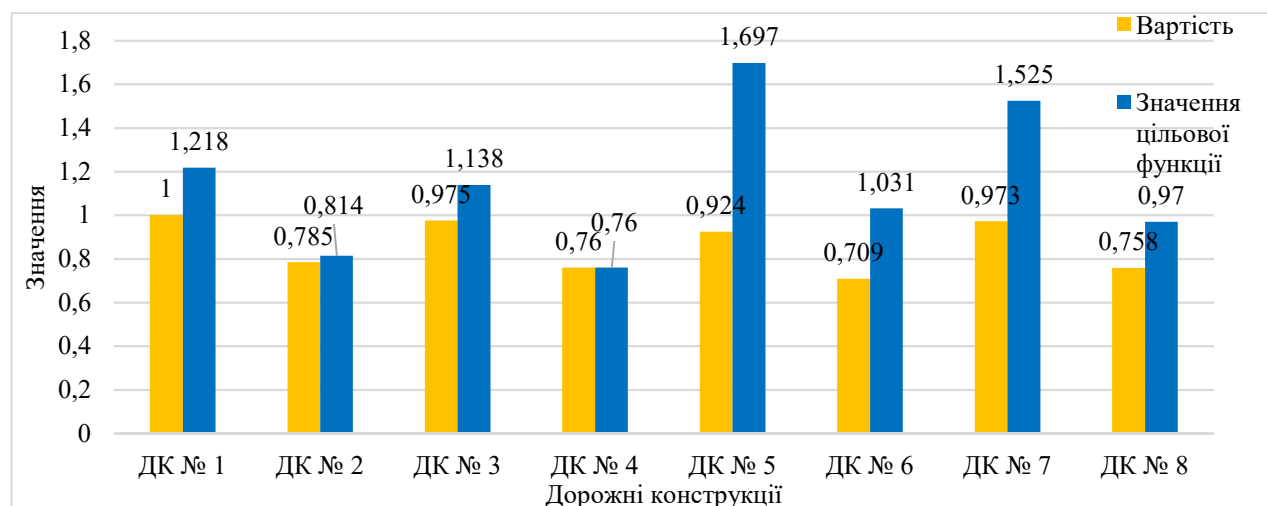


Рисунок 13 – Значення вартості та цільової функції дорожніх конструкцій

Аналіз рис. 13 показує, що цільова функція, визначена за формулою (18) набуває свого мінімального значення для ДК № 4 із розглянутих восьми конструкцій. Отже, саме цю конструкцію можна рекомендувати проектувальникам в якості оптимальної, що має найкращі техніко-технологічні показники у співвідношенні до її кошторисної вартості.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми, що полягає в розробленні методології проектування дренажних конструкцій мілкового закладання, яка ґрунтується на удосконаленні методу визначення комплексного показника фізичного та функціонального стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги; удосконаленні методу проектування параметрів поперечних дренажів мілкового закладання; удосконаленні методу з визначення технологічних режимів влаштування дренавальних шарів з трубчастими дренами на основі аналізу напружено-деформованого стану дорожньої конструкції; результатах числового експерименту з дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з трубчастими дренами; результатах експериментальних досліджень щодо формування фільтраційного потоку та визначення інтенсивності водовідведення поперечними дренажами мілкового закладання.

1. На основі аналізу існуючих теоретичних, експериментальних методів проектування дренажних конструкцій мілкового закладання та їх роботи встановлено, що дослідити процеси формування фільтраційного потоку та інтенсивність водовідведення на реальних об'єктах неможливо. Це обумовлює необхідність проведення лабораторних досліджень на повномасштабних експериментальних моделях з можливістю візуалізації. Відповідно виникає необхідність удосконалення існуючих методів розрахунку параметрів дренажних конструкцій, які суттєво схематизують всі явища та процеси, що відбуваються в підземних фільтраційних потоках. Відсутність досліджень щодо напружено-деформованого стану дорожньої конструкції, з трубчастими дренами в основі, висуває необхідність розв'язування нового класу задач, як на стадії будівництва, так і на стадії експлуатації таких споруд.

2. Розроблено кваліметричну модель якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги, яка ґрунтується на її показниках фізичного та функціонального зносу і дає можливість обґрунтувати вагомість впливу дренажних конструкцій на транспортно-експлуатаційні показники дороги. Вагомість дренажних конструкцій складає 20 % для фізичного зносу та 15 % для комплексного показника якісного стану дороги.

3. На основі загального рівняння усталеного нерівномірного плавномірного руху рідини модифіковано диференціальне рівняння змінної глибини фільтраційного потоку для призматичних русел, що дозволило отримати залежності для визначення відстані між дренажними прорізами для ділянок з прямим та зворотнім похилом, зокрема для дороги III-ї категорії, в умовах I-ї дорожньо-кліматичної зони України визначено відстань між дренажними прорізами для піщаного дренавального шару: піщаного – 40 м.

Отримано залежність для визначення часу водовідведення, яке враховує

приріст втрат фільтраційного потоку з дотриманням умов нерозривності. Час водовідведення при загальному питомому надлишку 25 л/добу на 1 м² для піщаного дренавального шару складає 1,5 доби

4. За результатами числового моделювання, з урахуванням технологічних особливостей влаштування дренавальних шарів (піщаного та щебеневого) отримано розподіл нормальних напружень та деформацій в дорожній конструкції і безпосередньо у тілі дренажних труб двох типів. Це дозволило встановити технологічні режими ущільнення дренавальних шарів з наявністю трубчастих дрена в робочій зоні земляного полотна, з урахуванням модуля пружності шару та типу дорожнього котка, зовнішній діаметр труб 120 мм: щебеневий шар (190 – 220 МПа) – прослідковується лінійна залежність зменшення деформацій труб від модуля пружності шару (для труби ПВХ SN 8 змінюється від 1,91 до 1,34 мм, для бетонної труби – від 1,98 до 1,32 мм); піщаний шар (40 – 120 МПа) – прослідковується нелінійна залежність зміни деформацій в трубі від модуля пружності шару (для труби ПВХ SN 8 змінюється від 1,88 до 2,87 мм, для бетонної труби – від 1,85 до 2,77 мм). Отримані деформації у бетонних трубах призводять до їх руйнування, а в трубах ПВХ такі деформації є допустимими, що підтверджує доцільність їх влаштування.

5. Проведено числове моделювання напружено-деформованого стану двох типів дорожньої конструкції (з дренавальним шаром та з наявністю трубчастих дрена під ним). Моделювання проводилося для двох класів труб SN 2 та SN 8. Отримані результати за тривимірними числовими моделями дозволяють обґрунтувати вибір міцнісних характеристик трубчастих дрена, які забезпечують безвідмовну роботу поперечних дренажів мілкового закладання на стадії експлуатації, наприклад в дорожній конструкції без труби деформація під дренавальним шаром складає 1,74 мм, з трубою SN 2 – 1,8 мм, з трубою SN 8 – 1,76 мм. Оскільки деформація труби SN 2 перевищує 3 % від її зовнішнього діаметру, то можливе порушення умов роботи дренажної конструкції в цілому.

6. Проведення експериментальних досліджень було поділено на два етапи. На 1-му етапі було досліджено особливості роботи дренажної траншеї з різними матеріалами-наповнювачами. При використанні щебеневого ядра конструкція працювала в режимі сформованого потоку з середньою інтенсивністю 0,6 л/хв, а траншея з крупнозернистим піском фр. 2 – 3 мм та трубою ПВХ поділяється на короткочасний та тривалий режими інтенсивності водовідведення при відповідних середніх показниках 0,4 л/хв та 0,0148 л/хв. За результатами досліджень отримано рівняння кореляційно-регресійних моделей в комплексі з поліноміальними залежностями для двох типів дренажних конструкцій. Середня похибка апроксимації для цих моделей складає 2,72 % – 12,35 %, що дозволяє зробити висновок про високу їх точність.

На другому етапі проводились дослідження з визначення режимів роботи дренавальних шарів з матеріалів двох типів (щебінь фр. 20 – 40 мм та середньозернистий пісок). Дренавальний шар з щебеню працював за принципом осушення з середньою інтенсивністю водовідведення 0,0645 л/хв. Піщаний дренавальний шар працював за принципом поглинання (розглядався як конструкція, що працює за принципом осушення) з середньою інтенсивністю водовідведення 0,0029 л/хв.

Встановлені режими формування фільтраційного потоку в дренажній траншеї та принципи роботи дренавальних шарів дозволяють зробити висновок щодо використання дренажних конструкцій мілкового закладання в залежності від величини надходження питомого надлишку води в дренавальний шар та глибини промерзання, які обумовлюють прийняття проектних рішень з регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції.

7. Моделювання впливу вібрації від дії транспортних засобів на дорожню конструкцію було здійснено в натурних умовах на основі вібропереміщення, оскільки розглядається лінійно-протяжна система, для якої величини прискорення та швидкості визначити неможливо. Відповідно до проведених вимірювань вібрації було створено установку імітації вібрації від дії транспортних засобів. Вплив вібрації дозволяє розглядати роботу дорожньої конструкції в реальних умовах. Для траншеї з наповнювачем труба ПВХ, обгорнута геосинтетичним матеріалом, з крупнозернистим піском, вібрація не впливає на інтенсивність водовідведення, а з наповнювачем щебеневе ядро з геосинтетичним матеріалом – інтенсивність водовідведення підвищується на 14 %. Такий процес суттєво впливає на замулювання шару геосинтетичного матеріалу в конструкції траншеї і, відповідно, на довговічність її роботи, що обумовлює дотримання нормативних вимог щодо використання матеріалів-наповнювачів з мінімальною кількістю пилюватих частинок.

8. Обґрунтовано вибір найбільш оптимальних дорожніх конструкцій з поперечним дренажем мілкового закладання за двома групами критеріїв: кошторисною вартістю та сукупністю техніко-технологічних показників. За експертним методом встановлено сукупність техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу дорожньої конструкції з поперечним дренажем мілкового закладання. Розглянуто вісім дорожніх конструкцій з поперечним дренажем мілкового закладання і визначено найбільш оптимальну, згідно обраних критеріїв: кошторисна вартість, грн; середньозважений коефіцієнт фільтрації, м/добу; середня інтенсивність водовідведення, л/хв; модуль пружності, МПа.

9. Результати дисертаційних досліджень впроваджені на галузевому рівні в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) у вигляді: МР Д 1.2-37641918-884:2017 «Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них», та пропозицій щодо удосконалення методу визначення загального максимального питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію, АД А.2.4-37641918-006:2018 «Альбом типових проектних рішень конструкцій земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування», МР В.2.3-37641918-913:2020 «Методичні рекомендації з вибору оптимальних конструкцій дренажів мілкового закладання з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України», 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» та пропозицій щодо удосконалення методу розрахунку параметрів поперечних дренажів мілкового

закладання, встановлення технологічних режимів влаштування дренажних конструкцій, методів з регулювання заходів з регулювання водно-теплого режиму дорожньої конструкції.

Матеріали роботи впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при підготовці фахівців зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів». В лекційних курсах з дисциплін «Будівництво та експлуатація інженерних мереж» та «Механіка земляного полотна», запропоновано методи та методики з визначення основних характеристик дорожньої конструкції для проведення лабораторних занять, курсового і дипломного проектування, виконання магістерських науково-дослідних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Славінська О.С., Бубела А.В. Проектування оптимальних конструкцій поперечних дренажів мілкового закладання та оцінка їх впливу на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги : монографія. К. : НТУ, 2020. 268 с.

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

2. Slavinska O., Savenko V., Kharchenko A., Bubela A. Development of a mathematical model of evaluation of road-and transport assets as a component of information-and-management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol 6. 4 (90). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118798> (SCOPUS).

3. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 2. 7 (92). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (SCOPUS).

4. Slavinska O., Stozhka V., Kharchenko A., Bubela A., Kvatadze A. Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 1. 3 (97). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>. (SCOPUS).

5. Slavinska O., Bubela A., Chechuha O., Bondarenko L. The intensity of water removal from shallow drainage systems considering the properties of filler materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 3. 1 (105). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203551> (SCOPUS).

6. Bubela A. The methodological basis of determining the operation condition of a road for its technical expertise. *World Science*. 2020. Vol 3 (55), С.4-7. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31032020/6965

7. Славінська О.С., Бубела А.В., Бондаренко Л.П., Чечуга О.С. Визначення оптимальної дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкового

закладання. *International Academy Journal Web of Scholar*. 2020. Vol 5 (47), С. 3-11.
URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7088

8. Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дослідження режимів роботи дренажувальних шарів в дорожніх конструкціях. *Science Review*. 2020. 5(32). С. 24-29.
URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

9. Slavinska, O., Bubela, A., Davydenko, O. Prediction of the stress-strain state of a road structure with shallow transverse tubular drainage. *ScienceRise*. 2020. (4), С. 24-32. URL: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001396>

Статті у фахових виданнях:

10. Bubela A.V. Project management of estimates of the roads based on consideration of the technical state. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2016. Вип. 97, С. 50-54.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/050-054.pdf

11. Bubela A.V. Using differential method in the construction of the highway to the accounting and valuation of assets road sector. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2016. Вип. 98. С. 22-28.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/022-028.pdf

12. Бубела А.В. Вплив дорожніх умов на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2018. Вип. 103. С. 61-65.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/103/61.pdf

13. Бубела А.В. Багаторівнева модель технічного стану об'єктів транспортного будівництва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2018. Вип. 104. С. 44-48.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/104/44.pdf

14. Бубела А.В. Дослідження закономірностей зволоження дорожньої конструкції та методи його регулювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2019. Вип. 105. С. 44-48.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf

15. Бубела А.В. Дослідження зміни транспортно-експлуатаційного стану покриттів в умовах перезволоження. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2019. Вип. 106. С. 6-12.

16. Безуглий А., Бібік Ю., Бубела А., Гресько І., Славінська О., Харченко А. Особливості проведення вартісної оцінки автомобільних доріг загального користування. *Дороги і мости : збірник наукових праць*. 2019. Вип. 19-20. С. 5-15.
URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.005>

17. Onyshchenko A.M., Usychenko O.Y., Bubela A.V. Research of transport and operation condition taken into account of different types and types of asphalt concrete with bonding polygum. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2020. Вип. 107. С. 71-77.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/107/71.pdf

18. Slavinska O.S., Onyshchenko A.M., Bubela A.V. Increasing the operational reliability of asphalt concrete coating for the use of modification addition butonal ns 198.

Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник. 2020. Вип. 108. С. 74-83. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/74.pdf

19. Бубела А.В. Дослідження ефективності функціонування дренажів мілкового закладання в дорожніх конструкціях. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки» : науково-технічний збірник. 2020. Вип. 1 (46). С 45-54. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-045-054.

URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/46/045.pdf>

20. Славінська О.С., Бубела А.В., Бондаренко Л.П., Чечуга О.С. Дослідження роботи дренажів мілкового закладання за інтенсивністю водовідведення з урахуванням впливу вібрації. *Дороги і мости* : збірник наукових праць. 2020. Вип. 21. С. 201-216. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.201>

21. Бубела А.В. Визначення залежності інтенсивності водовідведення від конструктивних характеристик поперечних дренажів мілкового закладання. *Дороги і мости* : збірник наукових праць. 2020. Вип. 22. С. 53-62. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.053>

22. Славінська О.С., Бубела А.В., Бондаренко Л.П., Чечуга О.С. Прогнозування режиму водовідведення з дорожньої конструкції. *Автошляховик України* : науково-виробничий журнал. 2020. Вип. 3. С. 28-36. URL: [10.33868/0365-8392-2020-3-263-28-36](https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-3-263-28-36)

23. Bubela A. Comprehensive assessment of the quality condition of the road with drainage system. *Technology audit and production reserves*, 2020, 4/2(54), P. 20-26. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210556>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

24. Бубела А.В. Особливості здійснення грошової оцінки ділянки автомобільної дороги з урахуванням техніко-функціональних характеристик. *Європейські стандарти оцінки, землеустрою і кадастру : Проблеми впровадження та шляхи їх реалізації в Україні*. Міжнародна науково-практична конференція. 28 квітня 2016 р., Харків, ХНУМГ ім.О.М.Бекетова. С. 78-83.

25. Бубела А.В. Принципи побудови моделі вартісної оцінки майна дорожньої галузі. *Современные геоинформационные и компьютерно-инновационные технологии дорожной отрасли, аэродромного строительства и землеустройства*. Международная научно-практическая конференция. 26-27 мая 2016, Харьков. С. 58-59.

26. Бубела А.В. Побудова моделі якісного стану автомобільної дороги для проведення майнової оцінки. *Міжнародна науково-практична конференція присвячена п'ятидесятиріччю кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем*. 03 листопада 2016 р., Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. С. 86.

27. Бубела А.В. Підходи щодо регулювання водно-теплогового режиму земляного полотна шляхом влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання. *Actual aspects of development in the context of globalization*. IX Міжнародна науково-практична конференція. 23-24 березня 2020 р., Флоренція, Італія. С. 250-251.

28. Бубела А.В. Дослідження роботи піщаних дренажних шарів в дорожніх конструкціях. *Modern approaches to the introduction of science into practice*. X

Міжнародна науково-практична конференція. 30-31 березня 2020 р., Сан-Франциско, США. С. 376-377.

29. Бубела А.В. Дослідження роботи дренажів мілкового закладання за інтенсивністю водовідведення. *Theoretical foundations of modern science and practice*. XI Міжнародна науково-практична конференція. 06-07 квітня 2020 р., Мельбурн, Австралія. С. 172-173.

30. Бубела А.В. Дослідження впливу вібрації на дренажну здатність дорожньої конструкції. *Science, trends and perspectives*. XVII Міжнародна науково-практична конференція. 18-19 травня 2020 р., Токіо, Японія. С. 150-151.

31. Бубела А.В. Вплив тривалості водовідведення в дренажних конструкціях на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги. *Modern science, practice, society*. XVIII Міжнародна науково-практична конференція. 25-26 травня 2020 р., Бостон, США. С. 242-243.

32. Славінська О.С., Бубела А.В. Дослідження впливу вібрації на інтенсивність водовідведення з дренажної конструкції. *Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Міжнародна науково-технічна конференція. 28-29 травня 2020 р., Одеса, Україна. С. 108-110.

33. Славінська О.С., Бубела А.В., Бондаренко Л.П. Метод визначення оптимальної дорожньої конструкції з поперечними дренажами мілкового закладання. *Perspective directions for the development of science and practice*. XX Міжнародна науково-практична конференція. 08-09 червня 2020 р., Афіни, Греція. С. 274-276.

34. Бубела А.В. Дослідження роботи дренажних шарів з поперечними дренажами мілкового закладання. *Current trends in the development of science and practice*. XXI Міжнародна науково-практична конференція. 15-16 червня 2020 р., Хайфа, Ізраїль. С. 89-91.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

35. Slavinska O., Savenko V., Bondarenko L., Bubela A. Improvement of methods of the property valuation based on mathematical and numerical modeling. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. 6. С. 3-14. URL: <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/496/476>.

36. Slavinska O., Kharchenko A., Bubela A., Chechuha O. Development of road sector's land valuation method for aims of asset management. *Technology audit and production reserves*. 2020. 2/2(52). P. 43-46. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200743>

Свідоцтва та патенти:

37. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 76497 Україна. Літературний письмовий твір науково-практичного характеру «Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них» Славінська О.С., Харченко А.М., Бубела А.В., Чесноков С.В. Дата реєстрації 01.02.2018 р.

38. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 76682 Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Розробка математичної

моделі вартісної оцінки дорожньо-транспортних активів як складової інформаційно-управлінської системи» Славінська О.С., Савенко В.Я., Харченко А.М., Бубела А.В. Дата реєстрації 06.02.2018 р.

39. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 83580 Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Дослідження роботи дорожньої конструкції на ділянках з трубчастими дренами з матеріалів різного походження» Славінська О.С., Савенко В.Я., Бубела А.В., Яремов А.П. Дата реєстрації 11.12.2018 р.

40. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 86516 Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Розробка моделі вагомостей параметрів автомобільних доріг у складі інформаційно-управлінської системи грошової оцінки» Славінська О.С., Стюжка В.В., Харченко А.М., Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дата реєстрації 01.03.2019 р.

41. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 93710 Україна. Літературний письмовий твір «Альбом типових проектних рішень конструкцій земляного полотна автомобільних доріг загального користування» Славінська О.С., Чечуга О.С., Савенко В.Я., Бубела А.В. Дата реєстрації 05.11.2019 р.

АНОТАЦІЯ

Бубела А.В. Методологія проектування поперечних дренажів мілкового закладання з оцінкою якісного стану дороги. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуальної проблеми щодо методології проектування поперечних дренажів мілкового закладання на основі оцінки якісного стану ділянки автомобільної дороги, яка працює в умовах перезволоження. Розроблено математичну модель якісного стану ділянки автомобільної дороги, де враховані її проектно-конструктивні параметри, зокрема дренажі мілкового закладання. Визначені коефіцієнти вагомості для кожного диференційного показника якісного стану елементів дорожньої конструкції. За методом скінчених елементів побудовані моделі дорожньої конструкції з дренавальним шаром в об'ємних елементах з різними типами трубчастих дрена. За результатами числового моделювання визначено деформації дорожньої конструкції та, безпосередньо, у тілі дренажних труб двох типів. Досліджено інтенсивність водовідведення умови роботи двох конструкцій поперечних дренажів мілкового закладання з різними матеріалами-наповнювачами в траншеї під впливом та без дії вібрації. Визначено цільову функцію для пошуку найбільш оптимальної конструкції поперечного дренажу мілкового закладання

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, поперечний дренаж мілкового закладання, дренавальний шар, трубчаста дрена.

АННОТАЦИЯ

Бубела А.В. Методология проектирования поперечных дренажей мелкого заложения с оценкой качественного состояния дороги. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы» (192 - Строительство и гражданская инженерия). – Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной проблемы по методологии проектирования поперечных дренажей мелкого заложения на основе оценки качественного состояния участка автомобильной дороги, которая работает в условиях переувлажнения. Разработана математическая модель качественного состояния участка автомобильной дороги, где учтены ее проектно-конструктивные параметры, в частности дренажи мелкого заложения. Определены коэффициенты весомости для каждого дифференциального показателя качественного состояния элементов дорожной конструкции. По методу конечных элементов построены модели дорожной конструкции с дренирующим слоем в объемных элементах с различными типами трубчатых дренажей. По результатам численного моделирования определены деформации дорожной конструкции и, непосредственно, в теле дренажных труб двух типов. Исследована интенсивность водоотведения условия работы двух конструкций поперечных дренажей мелкого заложения с различными материалами-наполнителями в траншее под влиянием и без воздействия вибрации. Определено целевую функцию для поиска наиболее оптимальной конструкции поперечного дренажа мелкого заложения

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная конструкция, поперечный дренаж мелкого заложения, дренирующий слой, трубчатая дрена.

ABSTRACT

A.V. Bubela Methodology for the design of transverse drainage of shallow laying with assessment of the quality of the road. – As a manuscript.

The dissertation for doctor of technical sciences degree in specialty 05.22.11 «Highways and airfields». (192 – Construction and Civil Engineering). – National transport university, Kyiv, 2021

The dissertation work presents the new decision of the current problem on methodology of design of transverse shallow drainage laying on the basis of the assessment of the quality condition of the road section which operates in wet conditions.

The discrepancy between the existing strength of the road and the constant increase in traffic tension and speed results in the destruction of road clothing, which makes it more water-resistant. In order to avoid long-term wetting of the structural layers of the cover and the base, it is necessary to prevent the accumulation of large quantities of free water in them by means of a shallow drainage system, which enables the water to be quickly removed from the road structure and ensures its strength. This also makes it necessary to measure the performance of shallow drainage structures, both in terms of drainage rates and vehicle vibration.

The work has developed a mathematical model of the quality of the road section, which takes into account its design and design parameters, in particular the shallow-level drainage. The conceptual model is based on a quatiletric method and a tiered hierarchical system of indicators. Weighting factors have been determined for each differential indicator of the quality of road structure elements and all objects situated within the withdrawal strip on the basis of cost and expert methods.

According to the method of finite elements, models of road construction with a drainage layer in three-dimensional elements with different types of tubular dredges are constructed on the basis of the modern software-calculation complex SCAD Office. According to the results of the numerical simulation, taking into account the technological features of the device of the drainage layer, a distribution of the normal voltage isofield and insulation is obtained, on the basis of which deformations of the road structure and directly in the body of two types of drainage pipes are determined. During the device of the drainage layer, deformation of concrete pipes may occur, which causes their destruction during the compaction thereof, as opposed to PVC pipes. The resulting deformations in the body of PVC pipes of class SN 8 are 2.3 per cent of the outer diameter, which does not affect drainage and confirms the advisability of their use as opposed to concrete pipes. Failure of concrete tube integrity contributes to moisture storage in road construction. The work also included a numerical simulation of the stress-strain condition of two types of road construction, with a drainage layer and with tubular drains below it, for two classes of tubes SN 2 and SN 8. The results obtained from three-dimensional numerical models justify the choice of strength characteristics of tubular drains.

The intensity of water drainage conditions of two structures of transverse drainage of shallow laying with different materials-fillers in the trench under influence and without the action of vibration was investigated. The experiment was conducted in accordance with the actual unfavourable meteorological conditions of the two shallow drainage constructions, with a rainfall intensity of 5 percent. The analysis of experimental studies suggests that the design of a cross-section drainage of shallow gravel core drains more water on average by 10% without vibration, and 14% more by vibration, over time, respectively, 7 and 11 times faster than the structure of a transverse drainage of a shallow laying with a tubular drainage. This gives rise to claims of greater efficiency. However, the intensity of drainage of the structure with the pipe is almost not affected by the vibration, and the effect of the vibration on the structure with the gravel core amplifies it due to a higher coefficient of filtration of the trench filler. On the basis of the results presented, correlation and regression relationships were obtained to determine the rate of drainage for each drainage structure in relation to the initial humidity of the ground. This makes it possible to adapt the results of experimental studies to in situ conditions with known changes in soil moisture from which the earth canvas will be constructed.

Established principles of operation of drainage layers, which make it possible to draw conclusions on the use of shallow drainage structures depending on the input of a specific surplus and condition the decision-making on water regulation thermal regime of road construction.

A target function has been defined to find the most optimal construction for the drainage of shallow laying base according to two groups of criteria: the estimated cost and the set of technical and technological indicators characterizing their performance. On the

basis of the method of collective expert evaluation of the conduct of mathematical processing of the data of the questionnaire survey of experts in the field of road construction in order to identify and rank the totality of technical and technological parameters, determining the work of constructions of transverse drainage of shallow laying. Of the eight proposed designs, the best possible designs with the best technical and technological characteristics were justified and recommended for design with a minimum estimated cost.

Key words: highway, road construction, of transverse drainage of shallow laying, drainage layer, tubular drainage.