

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

КВАТАДЗЕ АЛІНА ІРОДІОНІВНА



УДК 625.731.3

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛОГІСНОГО
РЕЖИМУ ДРЕНУВАЛЬНОГО ШАРУ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІД
ДІЄЮ НАВАНТАЖЕННЯ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

Доктор технічних наук, професор

Савенко Вячеслав Якович,

Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, м. Київ,
завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор

Кузло Микола Трохимович,

Національний університет водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України, м. Рівне,
завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів

Кандидат технічних наук, доцент,

Ільченко Володимир Володимирович,

Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" Міністерства освіти і науки України, м. Полтава,
доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель

Захист відбудеться „ 29 ” січня 2021 р. о 13⁰⁰ 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 „28” грудня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Збільшення інтенсивності великовагових транспортних засобів обумовлює безперервне зростання навантажень, швидкостей руху та відповідне підвищення вимог до міцності і стійкості дорожньої конструкції. Причому несприятлива ситуація виникає, коли велика вага вантажу призводить до необоротних деформацій як асфальтобетонного покриття, так і шарів основи дорожнього одягу. Суттєві зміни вологісного режиму спостерігаються навесні в дренавальних або морозозахисних шарах основи дорожнього одягу та у верхній частині земляного полотна (ЗП). Найбільше значення вологості виникає не тільки за рахунок надходження атмосферних опадів, що просочуються через тріщини покриття, узбіччя, укоси ЗП, а і в результаті віджимання води у дренавальний шар при просіданні нижніх шарів ґрунту, що відтанули. Також в цій зоні відбувається додаткова міграція вологи під впливом великовагових транспортних засобів.

На підставі експериментальних та натурних досліджень, на території колишнього СРСР, на перезволожених ділянках доріг було визначено, що дренавальні шари, які запроектовані за принципом осушення, фактично працюють за принципом поглинання. Як правило, це ділянки в низьких насипах, в нульових відмітках, у виїмках. Ці шари, за традиційним рішенням, влаштовують із нездимальних пісків на всю ширину ЗП. Їх товщина, без спеціальних додаткових дренавальних конструкцій, повинна бути досить великою, щоб забезпечити поглинання всієї води, що поступає за тривалий час.

Багатошарова дорожня конструкція (ДК) під дією вібрації від великовагового транспорту (особливо перевантаженого) зазнає суттєвого впливу від вільної води, яка потрапляє в проміжки між шарами, де виникає ефект подібний діафрагмовому насосу. Вплив збільшення навантаження підвищує ступінь защемлення води, що змушує її рухатись по поверхні розділу між нижнім шаром дорожнього одягу (ДО) та верхнім шаром ЗП. При постійному русі перевантажених транспортних засобів створюються умови для виникнення підсосу води з верхнього шару ґрунту ЗП у дренавальні шари.

Перевищення нормативних навантажень суттєво змінює картину напружено-деформованого стану (НДС) ДК в цілому. Одним із можливих шляхів обґрунтування явища міграції вологи з верхніх шарів ЗП в дренавальні є використання полів напружень та деформацій в цих зонах, що дасть можливість описати процеси осідання ґрунту ЗП. Ефективним підходом є використання числового моделювання НДС ДК на основі сучасного програмно-розрахункового комплексу SCAD Office (ПРК SCAD Office), що дозволяє визначати товщину верхнього шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджимання води під дією транспортного навантаження. Такий підхід є актуальним і надає можливість приймати обґрунтоване проектне рішення щодо дренавальних шарів дорожнього одягу для об'єктів нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що здійснювались кафедрою транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету: «Виконати аналіз

та розробити довідник кліматичних характеристик та кліматичного районування території України для регулювання водно-теплового режиму в дорожньому будівництві», номер держреєстрації 0116U007514; «Розробити метод прогнозування водно-теплового режиму дорожньої конструкції з урахуванням зміни екологічного стану придорожньої смуги», номер держреєстрації 0115U002287; «Розробити аналітичну систему технічної експертизи та грошової оцінки автомобільної дороги як складової матеріально-технічної бази дорожнього господарства», номер держреєстрації 0117U002326, Міжнародний проект CERES «Centers of Excellence for young REsearchers» (Центри передового досвіду для молодих вчених), реєстр. номер 544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES, <http://erasmusplus.org.ua/en/projects/1008-centers-of-excellence-for-young-researchers.html>.

Мета і завдання дослідження.

Мета полягає в розробленні методу прогнозування вологісного режиму дренажного шару, за рахунок впливу навантаження від великовагових транспортних засобів на основі числового моделювання напружено-деформованого стану дорожньої конструкції, та районування території України для регулювання водно-теплового режиму.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз методів розрахунку вологості дорожньої конструкції та закономірностей процесів просідання ґрунту земляного полотна при його промерзанні та висушуванні;
- на підставі результатів експериментальних досліджень, змодельовати елементи тривимірних дорожніх конструкцій з дренажним шаром за методом скінчених елементів та обґрунтувати основні фактори, які є визначальними в роботі дорожньої конструкції;
- дослідити напружено-деформований стан дорожньої конструкції з дренажним шаром при перезволоженому ґрунті земляного полотна, під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів;
- визначити питомий надлишок віджимання води під дією навантаження від великовагових транспортних засобів з верхнього шару земляного полотна з урахуванням зміни модуля пружності дренажного шару;
- виконати дорожньо-кліматичне районування для регулювання водно-теплового режиму на основі методу з визначення вологонакопичення в дорожній конструкції.

Об’єкт дослідження – процеси осідання ґрунту земляного полотна під дією навантаження від великовагових транспортних засобів.

Предмет дослідження – методи прогнозування вологісного режиму дренажного шару дорожньої конструкції під дією навантаження.

Методи дослідження: теорії механіки суцільного середовища і механіки дисперсних середовищ, методи математичного моделювання, методи числового моделювання, метод аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше змодельовані елементи тривимірних дорожніх конструкцій з дренавальним шаром методом скінченних елементів;
- досліджено напружено-деформований стан дорожньої конструкції, з дренавальним шаром при перезволоженому ґрунті земляного полотна, під впливом навантаження, що дозволило встановити осідання ґрунту земляного полотна за розподілом ізополів та ізоліній нормальних напружень і деформацій;
- вперше визначено питомий надлишок віджимання води під дією навантаження від великовагових транспортних засобів з верхнього шару земляного полотна в дренавальний на основі запропонованого методу прогнозування вологісного режиму;
- вперше виконано дорожньо-кліматичне районування для регулювання водно-теплового режиму в транспортних спорудах з урахуванням зміни питомого надлишку вологи за рахунок впливу навантаження від великовагових транспортних засобів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні методу розрахунку, що дозволяє проектувати дренавальні шари залежно від впливу великовагових транспортних засобів з урахуванням кліматичних особливостей регіону. Теоретичні положення дисертаційної роботи доведені до інженерної методики визначення питомого надлишку вологи, що надходить у дренавальні шари за рахунок впливу навантаження від великовагових транспортних засобів. Результати досліджень і практичні рекомендації можуть бути використані підприємствами та організаціями, які виконують роботи з проектування систем регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при розробленні галузевих документів, а саме Довідник № 4 «Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплового режиму в дорожньому будівництві».

Результати дисертаційної роботи були використані в навчально–методичних комплексах дисциплін «Механіка земляного полотна» і «Будівництво та експлуатація інженерних мереж» при формуванні програм лекційних занять та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

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

- моделюванні елементу тривимірної лінійно-протяжної дорожньої конструкції з дренавальним шаром методом скінченних елементів;
- дослідженні напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з дренавальним шаром при перезволоженому ґрунті земляного полотна під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів;
- визначенні питомого надлишку віджимання води під дією навантаження від великовагових транспортних засобів з шару ґрунту земляного полотна;
- виконанні дорожньо-кліматичного районування для регулювання водно-теплового режиму в транспортних спорудах з урахуванням зміни питомого

надлишку води за рахунок впливу навантаження від великовагових транспортних засобів.

Здобувачем в роботах [1-4, 15] – запропоновано метод обробки експериментальних досліджень; проведено числове експериментальне дослідження НДС дорожньої конструкції з перезволоженням дренажним шаром; проаналізовано експертний метод оцінки якісного стану дороги, метод кластеризації для побудови карт України. В роботах [6] виконана методологія визначення весняного вологонакопичення в дорожній конструкції; [7] – розроблено структурно-логічну модель з визначення величини здирання при промерзанні дорожньої конструкції; [9] – проаналізовано методи з визначення періодів водно-теплогового режиму дренажних систем в робочій зоні земляного полотна; [10] – враховано кліматичні зміни при визначенні вологонакопичення в дорожніх конструкціях; [13] – досліджено процес віджимання води в дорожній конструкції під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів; [14] – встановлені розрахункові схеми регулювання накопичення вологи в дорожній конструкції.

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; співставленням числових розрахунків з результатами теоретичних та експериментальних досліджень інших авторів; апробацією результатів роботи на різних рівнях.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: щорічних 73, 74, 76 наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (2017, 2018, 2020 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції “Actual aspects of development in the context of globalization”, 23-24 березня 2020 р., Флоренція, Італія; XI Міжнародна науково-практична конференція “Theoretical foundations of modern science and practice”, 06-07 квітня 2020 р., Мельбурн, Австралія; Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво», 28-29 травня 2020 р., м. Одеса, Україна; Workshop CERES-Modern Experience on Young Researchers Organization held on 5-7 July 2017 in Zilina, Slovakia.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 15 наукових праць, у тому числі: 4 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (2 статті у виданні, яке включене до наукометричної бази Scopus); 2 статті у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 6 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 2 статті додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 1 охоронний документ (1 свідоцтво України про реєстрацію авторського права).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 120 найменувань та три додатки. Основний текст викладений на 130 сторінках. Текст ілюструється 43 рисунками і містить 20 таблиць.

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 запропонованої загальної схеми цілорічного циклу водно-теплого режиму (ВТР) земляного полотна (ЗП) автомобільних доріг. Цілорічний цикл складається з чотирьох взаємопов'язаних періодів зміни вологості ЗП: осіннє вологонакопичення; інтенсивне переміщення та накопичення вологи при промерзанні-відтаванні ґрунту ЗП взимку; максимальне вологонасичення при відтаванні ґрунту та надходженні атмосферних опадів навесні; висихання влітку. Для кожного періоду слід виділити різні типи зволоження, які обумовлюють максимальний внесок у формування величини надходження води до дренажного шару.

Питаннями проектування та розрахунку дорожніх конструкцій з дренажними шарами займалися В.М. Сіденко, І.А. Золотарь, М.Б. Корсунський, О.Я. Тулаєв, М.А. Пузаков, Ю.Д. Соколов, Л.О. Преферансова, П.Д. Россівський, В.І. Рувінський, В.І. Куканов, О.Я. Олійник, В.Л. Поляков, В.М. Шестаков, П.Я. Полубарінова-Кочіна, Г.Р. Седергрєн, О.С. Славінська, І.П. Гамеляк, В.В. Стьожка та ін. В період експлуатації доріг можлива зміна умов зволоження ґрунтової основи порівняно з умовами, попередніх вишукувань та проектування споруд (порушення поверхневого водовідведення, зміна положення рівня ґрунтових вод тощо). Для своєчасного усунення факторів, що змінюють умови експлуатації дороги за рахунок підвищення інтенсивності руху великовагового транспорту виникає необхідність щодо прогнозування вологісного режиму ДК.

При проектуванні ДО, в якості розрахункової, приймають найбільшу відносну весняну вологість, що обумовлює зміну деформативних та міцнісних характеристик ґрунту ЗП. Узагальнені методи визначення деформацій ґрунтів враховують характерну їх властивість – стисливість, яка полягає в їх здатності змінювати свою будову під впливом зовнішніх навантажень.

В особливо в несприятливі періоди року, з великою інтенсивністю опадів, при проектуванні ДО з дренажами мілкового закладання необхідно призначити не тільки розрахункові вологість та модуль пружності, але і враховувати їх сезонні коливання. Особливість цих ДК обумовлює необхідність розроблення точного та доступного для інженерних розрахунків методу прогнозування вологісного режиму дренажного шару під дією навантаження.

У **другому розділі** було проведено дослідження роботи дренажних шарів на експериментальній установці дорожньої конструкції, яка відповідає параметрам дороги III категорії. Експерименти виконувались в навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. Передня стінка корпусу установки влаштована з органічного скла, що давало змогу візуалізувати формування фільтраційного потоку в дренажній траншеї, яку було влаштовано під дренажним шаром.

Досліджувалась робота двох типів дренажних конструкцій: з щебеневим 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. Відведення води з дренажної траншеї відбувалося у вигляді сформованого потоку, який витікав струминою, та краплинами. 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 у чотири рази більше за об'єм, який надійшов в щебеневий. Дренажна конструкція мілкового закладання з піщаним шаром розглядалася, як конструкція, що працює за принципом осушення, а фактично працювала за принципом поглинання.

Для прогнозування об'єму води, що надходить в дренавальний шар під дією навантаження від великовагових автомобілів, та відповідної зміни вологісного режиму всієї ДК в найбільш несприятливий період року, визначено характеристики, що описують цей процес. Відповідно, у роботі було проаналізовано процес просідання ґрунту при його промерзанні та висушуванні. Розрахунок просідання ґрунту в процесі промерзання, за рекомендаціями Е.Д. Єршова та В.І. Рувінського, виконується за формулами:

$$h_{\text{просід. (м)}} = 10^2 (z_{\text{нр(i)}} - z_{\text{нр(i-1)}}) e_{\text{просід.}}, \quad (1)$$

$$e_{\text{просід.}} = 1 - \frac{1 + a_{\text{просід.}} W'_0}{1 + a_{\text{просід.}} W_0}, \quad (2)$$

де $z_{\text{нр.}}$ – глибина промерзання, м;

$a_{\text{просід.}}$ – коефіцієнт лінійного просідання ґрунту, в частках одиниці, визначається за експериментальними дослідженнями;

W'_0 – вологість ґрунту під межею промерзання після відтоку плівковою води із талого ґрунту в мерзлий;

W_0 – початкова вологість ґрунту під межею промерзання, в частках одиниці.

Згідно досліджень В.І. Рувінського встановлено, що при деякому мінімальному значенні коефіцієнта ущільнення ґрунту після просідання навесні має місце наступне співвідношення між здиманням ґрунту і його просіданням: $h_{\text{просід}} \geq h_{\text{здим}}$. У цьому випадку, припиняється зниження щільності ґрунту і встановлюється так звана «побутова» щільність. «Побутовій» щільності скелета ґрунту в літній період відповідає коефіцієнт ущільнення ґрунту:

$$K_{\text{ymb}} = \frac{K_{y(\min)}}{1 - e_{\text{просід.}}}, \quad (3)$$

де $K_{y(\min)}$ – мінімальний коефіцієнт ущільнення ґрунту після його просідання;

$e_{\text{просід.}}$ – відносне просідання ґрунту при його висиханні навесні та влітку, частки одиниці, яке визначається формулою

$$e_{\text{просід.}} = 1 - \frac{1 + a_{\text{просід.}} W_{\text{л}}}{1 + a_{\text{просід.}} W_{\text{ПВ}}}, \quad (4)$$

де $W_{\text{л}}$ – вологість ґрунту в літній період, в частках одиниці;

$W_{\text{ПВ}}$ – повна вологоємність ґрунту при щільності після просідання, в частках одиниці.

При цьому, чим вище щільність ґрунту при будівництві дороги, тим більше $K_{\text{унб.}}$. За аналогією, за наведеними залежностями (2) і (4) для відносного просідання ґрунту отримано формулу для відносного осідання ґрунту під впливом навантаження. Для отримання цієї величини $e_{\text{осід.}}$ проведено числове моделювання НДС, яке дозволило визначити величину коефіцієнта лінійного осідання $a_{\text{осід.}}$, що представлено у третьому розділі роботи.

Існуючий метод розрахунку зміни вологісного режиму дорожньої конструкції, запропонований В.І. Кукановим (МАДІ), не відповідає сучасним нормативним вимогам щодо розрахункових навантажень. Це обумовлює необхідність для розв'язування поставлених задач, відповідно з новими розрахунковими навантаженнями, використання сучасних розрахункових комплексів щодо визначення НДС перезволоженої дорожньої конструкції.

У третьому розділі представлено модель тривимірної дорожньої конструкції з дренавальним шаром методом скінчених елементів. Для створення розрахункової моделі елементів автомобільної дороги обрано ППК SCAD Office, призначений для числового моделювання з визначення міцності і стійкості широкого класу конструкцій об'єктів будівництва, розрахунку НДС конструкцій від статичних і динамічних дій.

Було обрано схеми моделей автомобільних доріг I – IV-ої категорій в розрізі по межі крайньої смуги руху з узбіччям та укосом з похилом 1:1,5. Побудова скінченно-елементних сіток обумовлена розмірами штампу колеса автомобільного транспорту за статичним навантаженням. Для отримання найбільш можливих деформацій для проведення числових експериментів прийнято рішення – не обмежувати переміщення вузлів по контуру моделі.

На типових дорожніх конструкціях, з врахуванням власної ваги, було проведено серію числових експериментів, які включали збільшення нормативного навантаження на 10–50 % при перезволоженому ґрунті ЗП, що відповідає реальним умовам роботи автомобільних доріг на певних ділянках. Збільшення навантаження обумовлене статистичними даними, які визначаються на майданчиках системи зважування в русі Weigh-in-Motion на ділянках доріг з високою інтенсивністю руху великовагового транспорту.

За результатами числового моделювання отримано розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень N_z (т/м²) в об'ємних елементах: проекція – вид

зверху, проекція – в поперечному перерізі та розподіл деформацій Z (мм) шарів дорожнього одягу в поперечному перерізі при навантаженнях від великовагових транспортних засобів. Для проведення числових досліджень розглядалося три випадки прикладання навантаження по відношенню до осі дороги (рис. 1), на прикладі дороги II категорії з перезволоженим піщаним дренажним шаром при навантаженні на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля 86,25 кН.

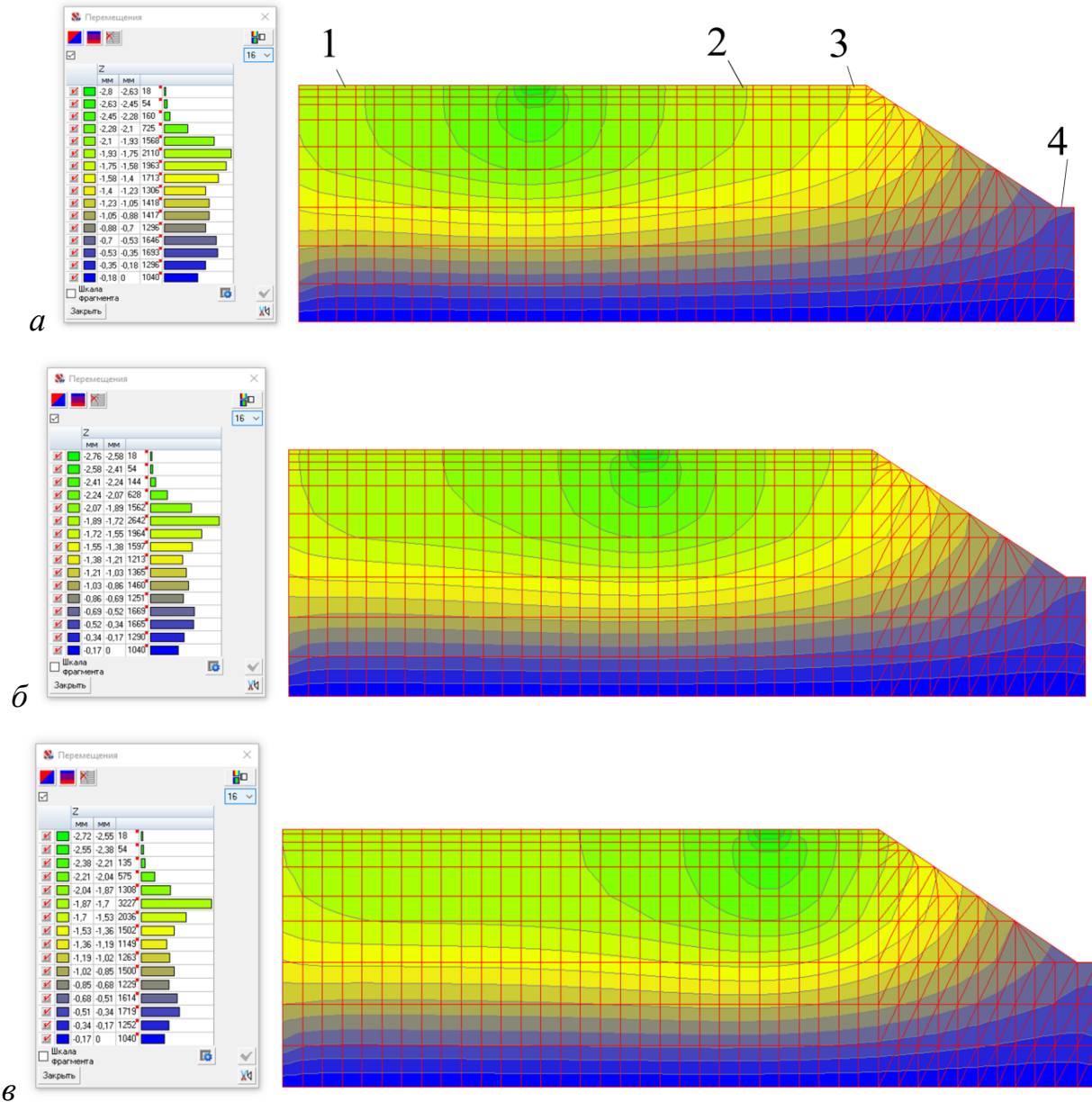


Рисунок 1 – Розподіл деформацій Z (мм): а – на відстані 2,4 м від осі дороги, б – на відстані 2,8 м від осі дороги, в – на відстані 1 м від кромки узбіччя; де 1 – смуга руху на проїзній частині; 2 – зупиночна смуга на узбіччі; 3 – укіс 3П; 4 – кювет.

Результати серії числових експериментів, а саме розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень N_z та розподіл деформацій Z в дорожній конструкції, порівнювали при навантаженнях від великовагових транспортних засобів різницею

в 10%, що дозволило визначити товщину шару ґрунту, розміщеного під дренавальним шаром, з якого відбувається віджимання води під дією прикладеного навантаження (рис. 2). Результати числового експерименту свідчать про те, що зі збільшенням навантаження від великовагових транспортних засобів відбувається збільшення глибини розподілу напружень $h_{N_{Zmin}}$ від поверхні дорожнього одягу до розподілу мінімальних значень напружень, за яких не буде віджиматися вода з ґрунті ЗП.

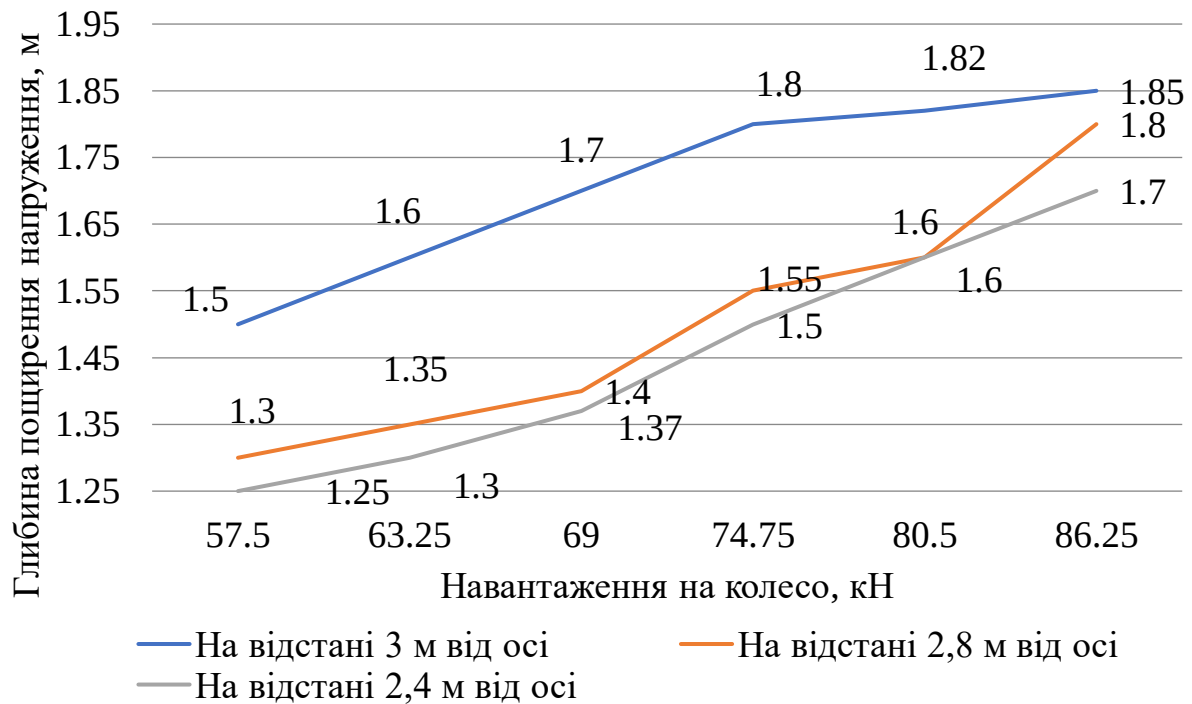


Рисунок 2 – Глибина розподілу напружень $h_{N_{Zmin}}$ від поверхні дорожнього одягу до розподілу мінімальних значень напружень, для супіщаного ґрунту $N_z=0,01$ МПа (загальна товщина ДО з дренавальним шаром $h_{ДО}=1,1$ м).

По аналогії відносно із запропонованим методом В.І. Рувінського, щодо визначення параметрів просідання ґрунту при висиханні або при розмерзанні, отримано залежності для відповідних показників під дією навантаження від великовагових транспортних засобів на дорожню конструкцію.

Відносне осідання ґрунту під дією навантаження від великовагових транспортних засобів, по аналогії з формулою (1), визначається за співвідношенням:

$$e_{осід.p} = \frac{Z_{ДО}}{(h_{N_{Zmin}} - h_{ДО}) \cdot 10^3}, \quad (5)$$

де $e_{осід.p}$ – відносне осідання ґрунту під дією навантаження від великовагових транспортних засобів, в частках одиниці;

$Z_{ДО}$ – деформація в дорожній конструкції на рівні глибини $h_{ДО}$ під дренавальним шаром, в проекції – в поперечному перерізі (рис. 1), при навантаженні від великовагових транспортних засобів, мм;

$h_{ДО}$ – загальна товщина дорожнього одягу включно з дренавальним шаром основи, м.

З урахуванням визначеного показника $e_{осід.}$ за формулою (5) та по аналогії з (4), коефіцієнт лінійного осідання ґрунту під дією навантаження розраховують за залежністю:

$$a_{осід.р} = \frac{e_{осід.р}}{W_{ПВ}(1 - e_{осід.р}) - W_{opt}}, \quad (6)$$

де $W_{ПВ}$ – повна вологоємність ґрунту, в частках одиниці;

W_{opt} – оптимальна вологість ґрунту, в частках одиниці;

$a_{осід.р}$ – коефіцієнт лінійного осідання ґрунту під дією навантаження, безрозмірна величина.

Коефіцієнт ущільнення ґрунту після впливу навантаження від великовагових транспортних засобів також можна визначити за аналогією при висиханні ґрунту:

$$K_{ущ.р} = \frac{K_{ущ.min}}{1 - e_{осід.р}}, \quad (7)$$

$K_{ущ.min}$ – мінімально допустимий коефіцієнт ущільнення ґрунту.

Віджимання води з шару ґрунту під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів відбувається від рівня глибини $h_{ДО}$ до рівня $h_{N_{Zmin}}$. Як у випадку відтавання, але з додатковим врахуванням коефіцієнта $a_{осід.р}$, питомий надлишок віджимання води можна визначити за залежністю:

$$q_{відж.р} = \left\{ \rho_{ск.max1} \cdot a_{осід.р1} (K_{ущ.р1} \cdot W_{ПВ1} - K_{ущ.1} \cdot W_{opt1}) h_{др.ш.} + \right. \\ \left. + \rho_{ск.max2} \cdot a_{осід.р2} (K_{ущ.р2} \cdot W_{ПВ2} - K_{ущ.2} \cdot W_{opt2}) (h_{N_{Zmin}} - h_{ДО}) \right\} \omega_{гр} / \rho_v, \quad (8)$$

де $\rho_{ск.max1}$, $\rho_{ск.max2}$ – максимальна щільність скелету ґрунту за методом стандартного ущільнення відповідно дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження, кг/м³;

$a_{осід.р1}$, $a_{осід.р2}$ – коефіцієнт лінійного осідання, відповідно, дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження, в частках одиниці;

$K_{уш,1}$, $K_{уш,2}$ – коефіцієнт ущільнення до прикладання навантаження відповідно дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження;

$K_{уш,р1}$, $K_{уш,р2}$ – коефіцієнт ущільнення після прикладання навантаження відповідно дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження;

W_{opt1} , W_{opt2} – оптимальна вологість відповідно дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження, в частках одиниці;

$W_{ПВ1}$, $W_{ПВ2}$ – повна вологоємність відповідно дренавального шару та шару ґрунту ЗП, з якого відбувається віджим води під дією навантаження, в частках одиниці;

$h_{др.ш.}$ – товщина дренавального шару, м;

$\omega_{гр}$ – площа поперечного перетину ґрунту, m^2 ($\omega_{гр} = 1 m^2$).

За запропонованим методом було визначено величину питомого надлишку віджимання води в дренавальний шар під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів для доріг I – IV категорій. Вихідні дані для проведення розрахунку, для I-ої дорожньо-кліматичної зони України, де в дренажну конструкцію надходить найбільший питомий надлишок води, отримані за результатами числового експерименту (табл. 1). Результати розрахунку наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Вихідні дані для визначення питомого надлишку віджимання води від дії навантаження від великовагових транспортних засобів під проїзною частиною та узбіччям

Показники	I категорія	II категорія	III категорія	IV категорія
$h_{N_{zmin}}$, м	1,33	1,80	1,36	1,16
$Z_{ДО}$, мм	2,16	2,01	3,41	2,51

Порівняння результатів розрахунку за запропонованим удосконаленим методом на основі дослідження НДС ДК та за методом Куканова В.І. (МАДІ), який не враховує вплив збільшених навантажень від великовагових транспортних засобів, власну вагу ДК, коефіцієнт лінійного осідання в ДК $a_{осід,р}$, дає значні відносні похибки.

Таблиця 2 – Результати розрахунку з визначення питомого надлишку віджимання води в дренальний шар під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів

Показники	I категорія	II категорія	III категорія	IV категорія
$e_{\text{осід.р}}$	0,0054	0,0029	0,0076	0,0083
$a_{\text{осід.р1}}$	0,0870	0,0460	0,1220	0,1350
$a_{\text{осід.р2}}$	0,0690	0,0370	0,0980	0,1090
$K_{\text{ущ.р1}}$	1,0054	1,0028	1,0076	1,0084
$K_{\text{ущ.р2}}$	0,9850	0,9820	0,9870	0,9880
$q_{\text{відж.р}}$, л води на 1 м ² площі	5,7	5,4	7,4	5,8

У четвертому розділі наведено результати з ефективності застосування методології, яка представлена на схемі прийняття проектних рішень щодо підбору параметрів споруд для регулювання водно-теплогового режиму (рис. 4). Розглядається два підходи: перший містить чотири додаткових етапи виконання проектних розрахунків, спираючись на існуючу нормативну базу, вимагає оновлення застарілих довідкових даних кліматичних характеристик по регіонах України; другий – скорочений, дозволяє враховувати типові та нетипові проектні рішення щодо конструкції дорожнього одягу та оновлені кліматичні показники району будівництва.

Запропонований оновлений метод дає можливість виключити етапи збору вихідних даних про кліматичні умови району будівництва за багаторічний період спостережень (температура повітря і ґрунту, швидкість вітру та висота снігового покриву) та статистичної обробки цих даних для виконання розрахунків за нормативною методикою. Всі ці елементи проектування можуть бути замінені на спрощене користування картами значень розрахункової глибини промерзання дорожньої конструкції для різних категорій автомобільних доріг.

На основі проведеного кластерного аналізу, побудована дорожньо-кліматична карта, на якій поділено територію України на 5 зон. Кількість їх змінюється залежно від географічного положення місцевості.

На основі результатів статистичної обробки та виконання комплексних розрахунків розроблено Довідник № 4 «Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві». Впровадження результатів розробки дає можливість оптимізувати параметри дренажних конструкцій мілкового закладання (у тому числі визначати товщину дренального шару) з урахуванням змін кліматичних показників.

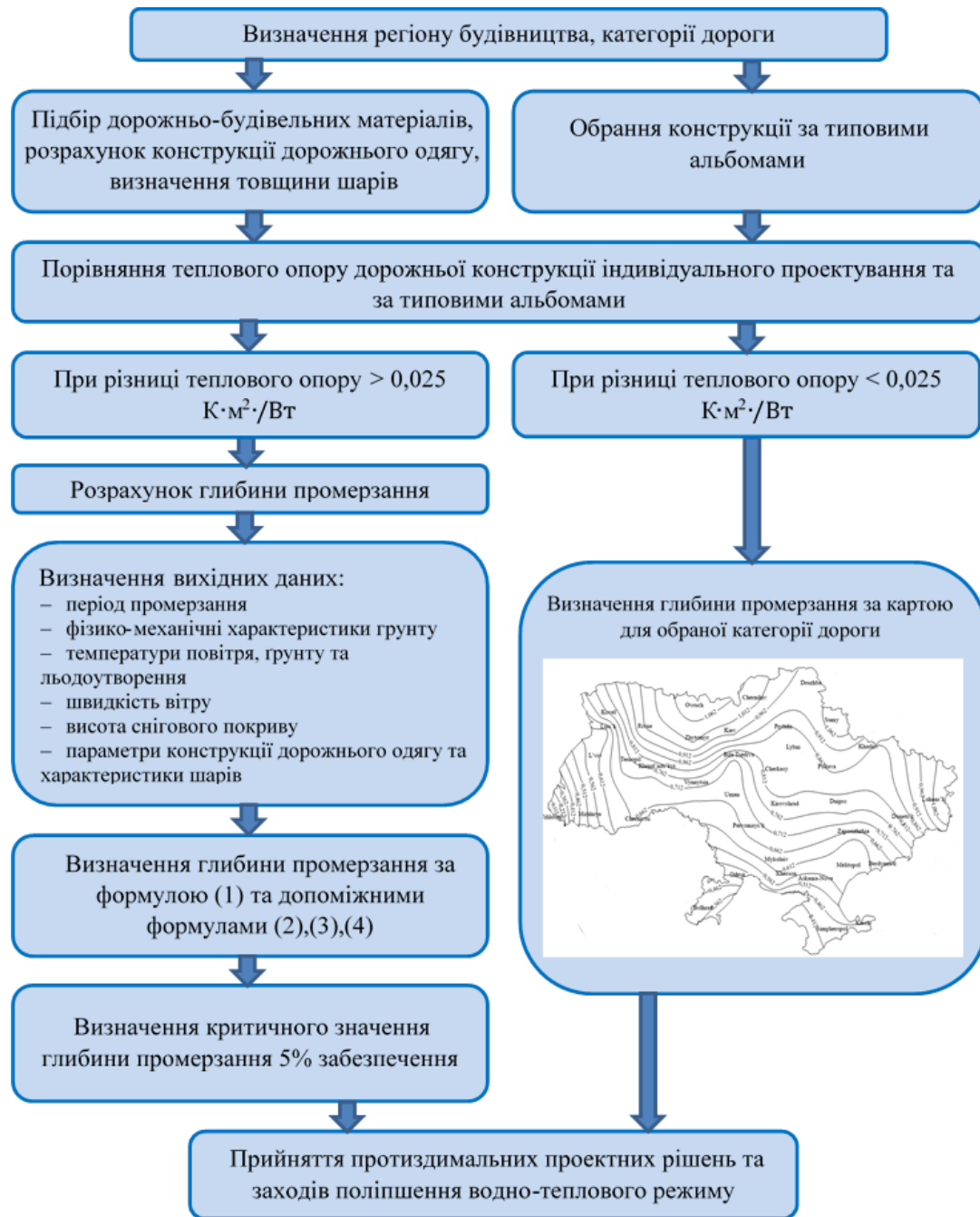


Рисунок 4 – Схема прийняття проектних рішень щодо підбору параметрів споруд для регулювання волого-теплового режиму

Запропоновано визначення запасної товщини дренажного шару для розміщення додаткового надлишку води за рахунок її віджимання під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів:

$$h_{зап P} = \frac{q_{відж.p}}{W_{ПВ1} - W_{opt1}}. \quad (9)$$

Для доріг I – IV-ої категорій в умовах I-ої дорожньо-кліматичної зони України на ділянках з високою інтенсивністю великовагових транспортних засобів

рекомендується збільшувати товщину піщаного дренажного шару на величину від 9 см до 12 см.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає в удосконаленні методу прогнозування вологісного режиму дренажного шару, за рахунок міграції вологи з нижніх шарів ґрунту ЗП під впливом навантаження від великовагових транспортних засобів на основі числового моделювання напружено-деформованого стану дорожньої конструкції; у виконанні районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві.

1. На підставі аналізу існуючих теоретичних та експериментальних досліджень з визначення загального модуля пружності ДК, водно-тепловий режим земляного полотна враховується кліматичною зоною, гідрологічною групою місцевості та розрахунковою вологістю, як сталою величиною без урахування можливості перезволоження ґрунтів ЗП на різних глибинах активної зони. Існуючий метод розрахунку щодо зміни вологісного стану дорожньої конструкції під дією навантаження не відповідає сучасним нормативним вимогам. Ці обставини обумовили суттєві зміни у підходах до розрахунку дорожніх конструкцій, з точки зору міграції вологи і закономірностей процесів просідання ґрунту земляного полотна при його промерзанні та висушуванні, та необхідність залучення сучасних розрахункових комплексів щодо визначення НДС перезволоженої дорожньої конструкції.

2. За результатами експериментальних досліджень визначено режими роботи двох типів дренажних конструкцій мілкового закладання, які відрізняються між собою: дренальний 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. Дренажна конструкція мілкового закладання з піщаним шаром розглядалася, як конструкція, що працює за принципом осушення, а фактично працювала за принципом поглинання. На підставі проведених досліджень були змодельовані елементи тривимірних дорожніх конструкцій з дренальним шаром, побудова скінченно-елементних сіток визначена із умов розмірів штампу колеса транспортного засобу. При накладанні в'язей опорних вузлів запропоновано не обмежувати переміщення вузлів по її контуру, щоб задання таких в'язей не зменшувало деформації моделі та відповідало реальним умовам роботи дорожньої конструкції.

3. Проведено числове моделювання НДС дорожньої конструкції під впливом навантажень від великовагових транспортних засобів для автомобільних доріг I – IV-ої категорії. Результати серії числових експериментів, а саме розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень N_z та розподіл деформацій Z в дорожній конструкції, порівнювались при навантаженнях від великовагових транспортних засобів різницею в 10%, що дозволило визначити товщину шару ґрунту, розміщеного під дренальним шаром, з якого відбувається віджимання води. Для доріг в умовах I-ої дорожньо-кліматичної зони України, при навантаженні від колеса розрахункового

автомобіля 86,25 кН на дорожню конструкції з перезволоженим піщаним дренажним шаром міграція води знизу вгору буде відбуватися з шару ґрунту ЗП під проїзну частину товщиною 50 – 80 см, під узбіччя – товщиною 60 – 90 см.

4. Ґрунтуючись на підході щодо визначення параметрів просідання ґрунту, при його висиханні або розмерзанні, отримано залежність для питомого надлишку віджимання води під дією навантаження від великогазових транспортних засобів. Запропонована залежність поєднує такі показники, як деформація під дренажним шаром, товщина шару ґрунту, розміщеного під дренажним шаром, з якого відбувається віджимання води під дією прикладеного навантаження, відносна осідання ґрунту ЗП, коефіцієнт лінійного осідання та коефіцієнт ущільнення дренажного шару і верхнього шару ґрунту ЗП під впливом навантаження. Питомий надлишок віджимання води під дією розрахункового навантаження змінюється від 5,4 л/м² до 7,4 л/м² для умов І-ої дорожньо-кліматичної зони України.

5. На підставі статистичної обробки кліматичних показників регіонів та використання кластерного аналізу побудовано карту дорожньо-кліматичного районування території України за значеннями питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію. Запропонований підхід враховує пікові навантаження на дренажні конструкції мілкового закладання під час опадів великої інтенсивності, що дозволяє удосконалювати метод розрахунку цих конструкцій в 5-ти зонах України. Для І-ої дорожньо-кліматичної зони України максимальний загальний питомий надлишок води з урахуванням віджимання під впливом понаднормативного навантаження складатиме від 24,4 л/м² до 37,4 л/м², що дуже суттєво змінить вологісний стан основи дорожнього одягу. Для врахування додаткового надходження води в дренажний шар під впливом понаднормативного навантаження великогазових транспортних засобів запропоновано визначення запасної його товщини, для доріг І – IV категорій – від 9 см до 12 см.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені на галузевому рівні в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) у вигляді Довідника № 4 «Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві» та пропозицій щодо удосконалення методу визначення загального максимального питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Usichenko O., Kvatadze A. Road-climate zoning for water-thermal mode regulation in transport structures. *World Science*. 2020. Vol. 1, No 3(55). P. 8-12. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31032020/6966

2. Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дослідження режимів роботи дренажних шарів в дорожніх конструкціях. *Science Review*. 2020. No 5(32). P. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

3. 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, No 3 (97). P. 46-59. (Scopus) URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>

4. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No 7 (106). P. 62-75. (Scopus) URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421>

Статті у фахових виданнях:

5. Кватадзе А.І. Метод визначення розрахункових періодів водно-теплового режиму для розрахунку дренажних пристроїв. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. Вип. 98. С. 79-84.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf

6. Кватадзе А.І. Удосконалення методу визначення об'єму вологонакопичення в дорожніх конструкціях дренажними шарами. *Дороги і мости*. 2017. Вип. 17. С. 81-88.

URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.081>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Савенко В.Я., Кватадзе А.І. Удосконалення періодів водно-теплового режиму дренажних систем в робочій зоні земляного полотна. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2017. С. 118.

8. Савенко В.Я., Кватадзе А.І. Удосконалення методології врахування кліматичних змін при визначенні вологонакопичення в дорожніх конструкціях. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2018. С. 171.

9. Кватадзе А.І. Удосконалення методу дорожньо-кліматичного районування на основі врахування зональності та азональності геокомплексів. *Actual aspects of development in the context of globalization*. IX Міжнародна науково-практична конференція. 23-24 березня 2020 р., Флоренція, Італія. С. 255-257. URL: <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2020/03/IX-Conference-23-24-Florence-Italy.pdf>

10. Кватадзе А.І. Дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з перезволоженою основою. *Theoretical foundations of modern science and practice*. XI Міжнародна науково-практична конференція. 06-07 квітня 2020 р., Мельбурн, Австралія. С. 234-235.
URL: <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2020/04/XI-Conference-06-07-Melbourne-Australia.pdf>

11. Савенко В.Я., Кватадзе А.І. Дослідження процесу віджимання води в дорожній конструкції під впливом понаднормативного навантаження. *Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Міжнародна науково-технічна конференція. 28-29 травня 2020 р., Одеса, Україна. С. 102-104.

12. Савенко В.Я., Кватадзе А.І. Удосконалення методології встановлення розрахункових схем регулювання вологонакопичення в дорожній конструкції. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2020. С. 123.
URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Slavinska O., Savenko V., Usichenko O., Kvatadze A. The method of accounting infiltration of atmospheric precipitation to calculate drainage facilities. *Metallurgical and Mining Industry*. 2017. Vol. 1. P. 46-52.
URL: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2017_1/007Savenko.pdf

14. Slavinska O., Usichenko O., Kvatadze A., Prykhodko S. Method to incorporate the climatic changes for determining freezing depths of road constructions. *Metallurgical and Mining Industry*. 2017. Vol. 8. P. 8-15.
URL: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2017_8/1Slavinska-O.pdf

Свідоцтва та патенти:

15. 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.

АНОТАЦІЯ

Кватадзе А.І. Удосконалення методу прогнозування вологісного режиму дренажувального шару дорожньої конструкції під дією навантаження. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2020.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуального питання щодо методу прогнозування вологісного режиму дренажувального шару дорожньої конструкції під дією навантаження від великовагових транспортних засобів. Ґрунтуючись на підході щодо визначення параметрів просідання ґрунту, при його висиханні або розмерзанні, отримано залежність для питомого надлишку віджимання води під дією навантаження. Запропонована залежність поєднує такі показники, як деформація під дренажувальним шаром, товщина шару ґрунту, розміщеного під дренажувальним шаром, з якого відбувається віджимання води під дією прикладеного навантаження. Визначення напружено-деформованого стану дорожньої конструкції проводилося в програмно-розрахунковому комплексі SCAD Office.

На підставі статистичної обробки кліматичних показників регіонів побудовано карту дорожньо-кліматичного районування території України за значеннями питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію.

Ключові слова: автомобільна дорога, віджимання води, вологісний режим, дорожня конструкція, дренажувальний шар, напружено-деформований стан, навантаження.

АННОТАЦИЯ

Кватадзе А.И. Усовершенствование метода прогнозирования влажностного режима дренирующего слоя дорожной конструкции под действием нагрузки. – На правах рукописи.

В диссертационной работе представлено новое решение актуального вопроса по методу прогнозирования влажностного режима дренирующего слоя дорожной конструкции под действием сверхнормативной нагрузки. Основываясь на подходе по определению параметров проседания грунта, при его высыхании или оттаивания, получена зависимость для удельного избытка отжима воды под действием нагрузки. Предложенная зависимость сочетает такие показатели, как деформация под дренажным слоем, толщина слоя грунта под дренажным слоем, из которого происходит отжим воды под действием приложенной нагрузки. Определение напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции проводилось в программно-расчетном комплексе SCAD Office.

На основе статистической обработки климатических показателей регионов построено карту дорожно-климатического районирования территории Украины по значениям удельного избытка воды, поступающей в дренажную конструкцию.

Ключевые слова: автомобильная дорога, отжим воды, влажностный режим, дорожная конструкция, дренажный слой, напряженно-деформированное состояние, нагрузка.

ABSTRACT

Kvatadze A. Improvement of the forecast method for the humidity of the drainage of the road structure under the influence of load – As a manuscript/

The dissertation for candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.11 «Highways and airfields» (192 – Construction and Civil Engineering). – National transport university, Kyiv, 2020.

The dissertation work presents a new solution to the topical questions of the method of forecasting the humidity-like mode of the drainage of the road construction layer under the action of the super-normative load. A brief analysis of the proposed outline of the year-round cycle of the water-thermal regime of the pavement of roads is given. For each period, different types of humidification have been identified, which make the maximum contribution to the water supply to the drainage layer. In order to eliminate, in a timely manner, the factors changing road conditions by increasing the volume of heavy traffic, it is necessary to forecast the humidity of the drainage construction (DC).

Considering this, a study was made of the drainage layers on the experimental installation of a road structure conforming to the parameters of the category III road. The work of two types of drainage structures was studied: with crushed and sandy layers, with filtration coefficients of 100 m / day and 4.5 m / day, respectively. The operating mode of two types of shallow drainage constructions differed: a draining layer made of soap rubble, fr. 20-40 mm, had an average discharge intensity of 0.0645 l / min, and a medium grain sand layer of 0.0029 l / min. A shallow, sandy drainage structure was seen as working on a drying principle, but actually worked on a absorption principle.

To forecast the volume of water entering the drainage layer due to heavy vehicle loads and the corresponding change in the humidity of the entire road structure during the most unfavourable period of the year, the characteristics describing this process have been defined. Accordingly, the process of soil drying during thawing and drying was analysed.

A three-dimensional road construction model with a draining layer by finite elements is provided for carrying out a numerical experiment. The software-calculation suite SCAD Office has been chosen to create a calculation model of the elements of the road. Road models of categories I-IV were constructed along the boundary of the extreme lane with a shoulder and slope 1:1.5 gradient. The construction of the finite-element grids is conditioned by the size of the wheel stamp on the statistical load of the A2 group, which is regulated by state standards. To obtain the most possible deformations for carrying out numerical experiments, it is decided not to limit the movement of the nodes along the contour of the model.

A series of numerical experiments have been carried out on typical road structures, taking into account their own weight, which included an increase in the normative load by 10-50% in the wetlands of the RF, which corresponds to the real road conditions on certain sections. According to the results of numerical modelling, the distribution of isofields and insulation of normal stresses N_z (t / m²) and deformations Z (mm) of layers of road pavement in the volume elements is obtained.

Based on the approach to determining the parameters of soil seedling, when the soil is dry or thawed, the relationships for the relative soil precipitation are obtained, The proposed dependencies combine deformation under the drainage layer, soil thickness under the drainage layer, from which water is pressurized under applied load, optimum

moisture and total moisture capacity of the soil. According to the proposed method, the value of the specific excess of water in the draining layer due to the action of a over-normative load is determined.

For roads of categories I to IV in the conditions of the 1st road-climatic zone of Ukraine, with the over-normative load from the wheel of the design car 86.25 kN on the road structures with the wetted sandy drainage layer, The migration of moisture from the bottom upwards will occur from the soil of the subgrade to the carriageway, from the thickness of 50 to 80 cm, from the shoulder to the thickness of 60 to 90 cm, depending on the overall thickness of road pavement; the proportion of the excess pressure applied to the water pressure varies from 5.4 to 7.4 litres per m².

The work also presents the results on the effectiveness of the methodology for taking project decisions on the selection of parameters of structures for water and thermal regulation. The proposed updated method makes it possible to eliminate the stages of the collection of baseline data on the climatic conditions of the construction area over the many years of observation (air temperature, soil, wind speed and snow height) and statistical processing of these data in order to perform the calculations according to the normative method. All these elements of the design can be replaced by the simplified use of maps of the calculated freezing depth of the road structure for different road categories. On the basis of the completed cluster analysis, a road-climate map was constructed on which the territory of Ukraine is divided into five zones. The introduction of the results of the development makes it possible to optimize the parameters of the shallow drainage structure (including the thickness of the drainage layer) taking into account changes in climatic characteristics.

The proposed definition of the reserve thickness of the draining layer for accommodating the additional excess water due to the squeezing thereof under the influence of the super-normative load is proposed.

Keywords: road, water squeezing, humidity, road structure, drainage construction, stressed-strained state, load.

Підписано до друку 28.12.2020.
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний № 1.
Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 1,8 арк.
Тираж 100 прим. Замовлення №759

Надруковано в типографії ФОП Степенко Р.Д.
02660, м. Київ, б-р Дружби Народів, 24/2
тел.: +38 (044) 223-81-79, www.urb.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК №7205 від 03.12.2020