

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Стьожка Віталій Володимирович**

УДК 625.123

**УДОСКОНАЛЕННЯ  
МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ  
МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Київ – 2015**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі управління виробництвом і майном Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Славінська Олена Сергіївна,**  
Національний транспортний університет, декан  
факультету транспортного будівництва, м. Київ.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Угненко Євгенія Борисівна,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет, завідувач кафедри вишукувань та  
проектування доріг і аеродромів, м. Харків;

кандидат технічних наук, доцент  
**Шинкарук Любомир Антонович,**  
Національний університет водного господарства та  
природокористування, доцент кафедри гідротехнічного  
будівництва, м. Рівне.

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ року о \_\_\_\_\_ годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному  
університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного  
університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

\_\_\_\_\_

В.І. Каськів

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Автомобільні дороги є важливою складовою економіки будь-якої держави. Їх стан та розгалуженість мережі впливають на всі галузі народного господарства.

Найбільш поширеними на території України є покриття, які влаштовують з використанням органічних в'язучих: асфальтобетонні – 59,7 тис. км (34,5 %); чорні шосе – 71,7 тис. км (42,1 %). Решта становить незначну частину: цементобетонні – 1,6 %, бруківки – 4,6 %, білі щебеневі та гравійні – 15 %.

Покриття, влаштовані з використанням органічних в'язучих, характеризуються високою чутливістю до температурно-зволожувальної дії, безперервними змінами міцності та деформативних характеристик у часі, у зв'язку з природним старінням в'язучого (у тому числі дьогтів, кам'яновугільних смол) та з використанням місцевих матеріалів (жорства, вапняки), які витримують незначну кількість циклів (до 30) заморожування-розмерзання, що суттєво ускладнює прогнозування їх довговічності.

На сьогодні переважна більшість дорожніх покриттів є водопроникними внаслідок старіння матеріалів, наявності тріщин та мікротріщин. Накопичення вологи у нижніх шарах дорожнього одягу та робочій зоні земляного полотна в результаті значної кількості зимових опадів та плюсових температур; потрапляння вологи від дощу через дефекти покриття, не сплановані узбіччя, розділювальну смугу; відтискання води з нижніх шарів при розтаванні конструкції весною та багато інших факторів призводять до втрати несної здатності дорожньою конструкцією.

При будівництві, реконструкції чи капітальному ремонті доріг в умовах несприятливого водно-теплового режиму, при наявності глинистих, схильних до здимання ґрунтів виникає потреба у влаштуванні систем регулювання вологості дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна.

Із цією метою влаштовують дренажні системи мілкового закладення, які знаходяться в зоні промерзання і призначені для забезпечення водовідводу (принцип осушення) або розміщення в них (принцип поглинання) всієї води, яка надходить до основи проїзної частини в розрахунковий період, а також забезпечення максимального захисту земляного полотна від перезволоження поверхневою водою.

На теперішній час методи визначення параметрів елементів дренажних систем мілкового закладення носять розрізнений характер, у розрахунках часто використовують емпіричні залежності та застарілі статистичні дані, що значно знижує точність розрахунків. Існуючі методи не повністю враховують дію усіх можливих джерел зволоження, особливості клімату регіону проходження дороги, режими руху рідини у пористому середовищі піщаного дренажного прошарку тощо.

Підвищення точності розрахунків при проектуванні дренажів мілкового закладення дасть змогу призначати обґрунтовані параметри конструкції, запобігти перезволоженню та руйнуванню дорожньої конструкції у несприятливий період з точки зору водно-теплового режиму, подовжити строк служби автомобільної дороги, зменшити витрати на її ремонт та експлуатаційне утримання.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення за рахунок використання математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги, з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові результати одержані у процесі виконання таких робіт згідно з планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України: «Розробити методу визначення пропускну здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи» (д/б № 41-10, РК 0110U004126) та «Розробити рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання» (д/б № 57-12, РК 0112U005242).

**Мета дослідження** полягає в розробленні методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

**Задачі дослідження.** Для досягнення мети роботи необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу і робочої зони земляного полотна з часом та процесу фільтрації у піщаних дренажних шарах дорожньої конструкції;

- розробити розрахункові схеми переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги;

- розробити математичну модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках з урахуванням надходження вологи від різних джерел протягом року та метод її реалізації;

- виконати розрахунок параметрів піщаного дренажного шару дренажної системи мілкового закладення автомобільної дороги із застосуванням існуючих та удосконаленого методів;

- розробити практичні рекомендації щодо застосування отриманого методу при проектуванні дренажних систем мілкового закладення робочої зони земляного полотна автомобільної дороги.

**Об'єктом дослідження** є процеси надходження вологи до дренажної системи мілкового закладення протягом року та її фільтрації в дренажних шарах робочої зони земляного полотна.

**Предметом дослідження** є метод розрахунку поздовжніх дренажних систем мілкового закладення в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги.

**Методи досліджень** – методи математичного та числового моделювання, статистичні методи обробки експериментальних даних для порівняння розрахункових параметрів, одержаних із використанням різних методів.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- *удосконалено* математичну модель безнапірного нестационарного руху води в площині у піщаному шарі при наявності інфільтрації з урахуванням особливостей конструкції поперечного профілю та умов роботи дренажних систем мілкового закладення автомобільної дороги;

- *вперше одержано* схему реалізації та точні розв'язки рівнянь, які описують процес фільтрації в дренажних шарах конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги; розроблено інформаційно-аналітичну систему для реалізації отриманих рівнянь;

- *запропоновано* метод розрахунку дренажних систем мілкового закладення на підставі моделі безнапірного нестационарного руху води у пористому середовищі з урахуванням загальної величини надходження вологи до шарів дорожнього одягу та робочої зони земляного полотна від різних джерел зволоження протягом року.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що розроблений метод розрахунку дозволяє проектувати поздовжню дренажну систему мілкового закладення в робочій зоні земляного полотна залежно від глибини фільтраційного потоку у розрахунковий період з урахуванням кліматичних особливостей регіону та параметрів поперечного перерізу конструкції.

Теоретичні положення дисертаційної роботи доведені до рівня алгоритмів, програмних засобів та інженерної методики визначення розрахункових характеристик піщаного дренажного прошарку автомобільної дороги. Результати досліджень і практичні рекомендації можуть бути використані підприємствами та організаціями, які виконують роботи з проектування систем регулювання водно-теплового режиму дорожнього одягу та верхньої частини земляного полотна автомобільних доріг.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при розробленні нормативних галузевих документів М 218-02070915-684:2011 «Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового закладення з урахуванням річного циклу роботи» та Р В.3.1-21476215-816:2013 «Рекомендації щодо оптимізації заходів з сезонного утримання доріг та підвищення якості їх виконання», а також у ДП «Укрдїпродор» та Службах автомобільних доріг Київської, Тернопільської і Чернігівської областей.

**Особистий внесок здобувача.** Внесок автора в опубліковані зі співавторами наукові праці:

- розроблено модифіковану математичну модель руху води в дорожній конструкції та виконано розрахунок зміни рівня води у піщаному дренажному шарі в розрізі часу та по довжині зони фільтрації [1];

- проаналізовано особливості процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками, виконано порівняльний розрахунок із застосуванням різних методів [3];

- проаналізовано умови зволоження дорожніх конструкцій у різних умовах та існуючі методи кількісної оцінки цього процесу, зроблено висновки про необхідність розроблення удосконаленого методу, який би більш точно враховував індивідуальні особливості регіону [4];

- обґрунтовано необхідність та доцільність використання рівнянь плавно змінного нестационарного руху рідини при розрахунку піщаних дренажних прошарків [5];

- запропоновано розрахункову схему роботи дренажного шару за принципом осушення; досліджено вплив рухомого складу на зниження пропускну здатності дренажного шару з часом [6];

- проаналізовано основні фактори, які формують водно-тепловий режим верхньої частини земляного полотна та основи дорожнього одягу; розглянуто методи визначення параметрів дренажних систем мілкого закладення з урахуванням режиму руху рідини, підвищення щільності піщаного шару з часом, особливостей клімату регіону будівництва [7].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи були представлені на: міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» 1-2 березня 2012 року, м. Київ, Україна; всеукраїнській інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва» 21-22 листопада 2012 року, м. Полтава, Україна; наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету № № 65 – 71 в 2009 – 2015 рр.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 19 друкованих робіт, у тому числі: 7 статей у фахових виданнях; 1 стаття у закордонному виданні, 1 публікація в матеріалах наукової конференції та 10 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів та додатків. Загальний обсяг 219 сторінок, з них: 152 сторінки основного тексту, який містить 47 рисунків та 8 таблиць, список використаних джерел із 117 найменувань на 12 сторінках і 67 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

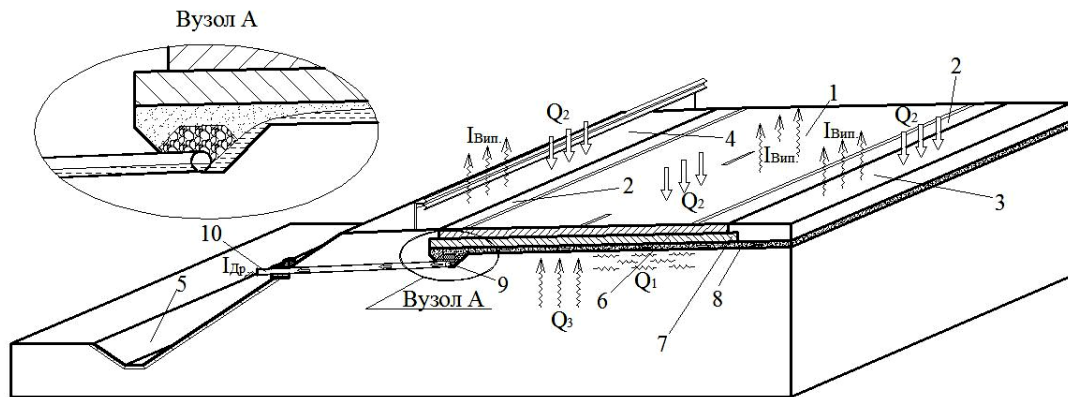
У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, окреслено об'єкт і предмет дослідження, подано опис основних наукових результатів, відображено наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості про впровадження і апробацію результатів дослідження.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проаналізовано дію можливих джерел зволоження на дорожню конструкцію. Наведено приклади негативного впливу вологи на реально існуючі об'єкти, що було виявлено при виконанні натурних спостережень. У результаті проведеного аналізу з'ясовано, що, оцінюючи міцність і довговічність доріг, велику увагу слід звернути на фактори, які впливають на зміну температури і вологості шарів конструкції. До них відносяться кліматичні дії – температура і відносна вологість повітря, сонячна радіація, атмосферні опади і швидкість вітру; гідрологічні – поверхневий стік; гідрогеологічні – ґрунтові води; вплив інженерних комунікацій – теплотраси, водопроводи, каналізації та ін.

Тепловологісний вплив і тепломасообмінні процеси визначають водно-тепловий режим, тобто закономірні сезонні зміни в активній зоні дорожньої конструкції температури і вологості шарів одягу і ґрунту полотна. Водно-тепловий

режим обумовлює деформаційну здатність, міцність і довговічність дорожньої конструкції. Тому, при розробленні принципів і методів проектування стійких та економічних дорожніх конструкцій необхідно вміти оцінювати інтенсивність та закономірність зміни водно-теплового режиму.

Джерела зволоження дорожньої конструкції поділяють на три групи (рис. 1) та характеризують такими кількісними показниками: об'єм води, що звільняється при розтаванні ґрунту земляного полотна ( $Q_1$ ); величина надходження інфільтраційної вологи ( $Q_2$ ); кількість капілярної вологи ( $Q_3$ ).



1 – проїзна частина; 2 – укріплена частина узбіччя або розділювальної смуги; 3 – розділювальна смуга; 4 – неукріплена частина узбіччя; 5 – кювет; 6 – шари покриття дорожнього одягу; 7 – шари основи дорожнього одягу; 8 – підстильний шар основи з піску (дренуючий шар); 9 – поздовжній дренаж мілкового закладення; 10 – поперечний скид води з поздовжнього дренажу мілкового закладення

Рисунок 1 – Джерела зволоження верхньої частини земляного полотна автомобільної дороги

З'ясовано, що для роботи дорожньої конструкції у сприятливих умовах водно-теплового режиму необхідно, щоб сумарний приток вологи від різних джерел зволоження ( $\sum Q_i$ ) не перевищував кількості вологи, яка випаровується ( $I_{\text{Вип.}}$ ), йде на змочування поверхонь ( $I_{\text{Зм.}}$ ) та відводиться дренажною системою ( $I_{\text{Др.}}$ ):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{\text{Вип.}} + I_{\text{Зм.}} + I_{\text{Др.}} \quad (1)$$

Питаннями прогнозування закономірностей зміни температури і вологості шарів основи дорожнього одягу та верхньої частини земляного полотна з часом та їх кількісної оцінки займалися як вітчизняні, так і іноземні вчені: Тулаєв О.Я., Золотарь І.А., Сіденко В.М., Рувінський В.І., Пузаков М.А., Седергрєн Г.Р. та ін. Окремі результати досліджень знайшли своє відображення у діючій нормативній базі. Дослідження науковців проводилися переважно 30-40 років тому, отже, результати натурних спостережень є неактуальними, а сучасні можливості використання комп'ютерної техніки дають змогу проводити більш точні та близькі до конкретних індивідуальних умов розрахунки.

Виходячи з того, що влаштування дренажу мілкового закладення є часто необхідним з метою ефективної роботи дорожньої конструкції, а ремонт чи зміна параметрів дренажної системи передбачає розбирання всієї конструкції дорожнього одягу, існує необхідність розроблення точного та доступного для інженерних розрахунків методу визначення вихідних величин та параметрів дренажу мілкового закладення. Це дасть змогу проектувати конструкцію з параметрами, які забезпечать її ефективну роботу протягом нормативного строку служби.

У **другому розділі** висвітлено результати досліджень процесів надходження вологи та методів розрахунків параметрів дренажних систем робочої зони земляного полотна.

Рух води в піщаному шарі дренажної системи мілкового закладення відбувається за законами фільтрації. При правильній роботі дренажної системи рух води в ній є безнапірним, обмеженим зверху вільною поверхнею, у точках якої тиск є постійним і зазвичай дорівнює атмосферному. Ця вільна поверхня називається поверхнею депресії, а лінія її перетину з вертикальною площиною – кривою депресії. Рух води у такому випадку відбувається в одношаровому ґрунтовому масиві з розміщенням дрени на водоупорі, за який приймають частину земляного полотна під піщаним шаром.

Питаннями проектування та розрахунку дренажів у різний час займалися В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, М.А. Пузаков, І.А. Золотарь, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Д. Россовський, В.І. Рувінський, О.Я. Олійник, В.Л. Поляков, Ю.Д. Соколов, В.М. Шестаков, П.Я. Полубарінова-Кочіна, Г.Р. Седергрєн та ін.

Оскільки дренажі мілкового закладення розміщуються в зоні промерзання дорожньої конструкції, піщаний дренажний шар у час розтавання поперечних випусків та поздовжніх дренажів не може відводити вільну воду. При наявності трубчастих дренажів, які перебувають весною деякий час в замерзломому стані, вода накопичується, а товщина піщаного шару повинна бути достатньою для того, щоб розмістити всю воду протягом періоду розтавання. Тому, розрахунок пропускної здатності дренажу мілкового закладення полягає як у визначенні мінімальної товщини піщаного дренажного шару для розміщення в ньому всієї води, що надходить у розрахунковий період (метод поглинання), так і у розрахунку товщини піщаного шару і внутрішнього діаметра дренажної труби, достатніх для ефективного відведення зазначеної вище кількості води (метод осушення).

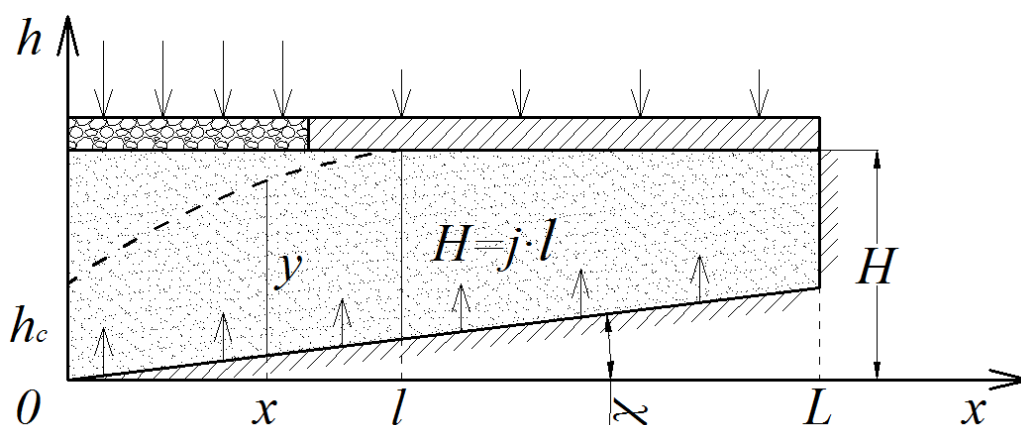
Вихідним параметром для розрахунку пропускної здатності дренажу мілкового закладення є загальна величина притоку вологи у шари основи. Одним із суттєвих і небезпечних джерел зволоження верхньої частини земляного полотна та шарів дорожнього одягу є вода, яка звільняється при розтаванні ґрунту активної зони земляного полотна. Оскільки, покриття проїзної частини, узбіччя, розділювальні смуги автомобільних доріг загального користування є переважно водонепроникними, існує необхідність врахування величини надходження інфільтраційної вологи від атмосферних опадів при проектуванні дренажних систем мілкового закладення. Для індивідуальних умов проектування величину надходження інфільтраційної вологи в основу дорожнього одягу та до робочої зони земляного полотна розраховують за даними метеорологічної статистики та з урахуванням особливостей майбутньої



конструкції. Величина надходження інфільтраційної вологи безпосередньо залежить від режиму та інтенсивності випадіння опадів. При проектуванні дренажної системи мілкого закладення важливо врахувати кліматичні особливості району проходження дороги. Тому, доцільно врахувати сумарну кількість надходження вологи до конструкції від різних джерел протягом всього року, а потім обрати розрахунковий (найбільш несприятливий) період.

Розглянуто існуючі методи визначення глибини фільтраційного потоку  $i$ , відповідно, товщини піщаного дренажного шару згідно з діючими методами, які регламентовані нормативними документами. Зроблено висновок, що вони мають суттєві недоліки – невисока точність через використання номограм, неможливість врахування окремо надходження води зверху та знизу, початкового рівня води після розмерзання поперечних випусків та дрен, різної величини надходження інфільтраційної вологи через покриття та узбіччя, відсутність параметра часу. У зв'язку із цим, за мету було поставлено розв'язання задачі фільтрації води у піщаному дренажному шарі з поздовжніми перфорованими дренами. Задля цього проаналізовано аналітичні, числові та експериментальні методи розв'язання задач нестационарного руху ґрунтових вод: метод послідовної зміни стаціонарних станів, метод скінченних різниць, метод Монте-Карло, варіаційно-різницевий метод та ін.

Так, Ю.Д. Соколов, базуючись на рівнянні Буссінеска, за допомогою наближеного методу послідовної зміни стаціонарних станів описав задачу про безнапірний нестационарний плоский приплив ґрунтових вод до дренажної галереї при наявності інфільтрації, з горизонтальним водоупором та при похилій лінії водоупору. Вченим розглянуто дві фази нестационарного руху: перша – поширення зони депресії на певну відстань за певний проміжок часу при постійному рівні води на контурі дрена; друга – вичерпування шару за певний проміжок часу.



$L$  – довжина дренажного шару від дренажної труби до вертикальної водонепроникної границі, м;  
 $l$  – довжина зони депресії у період  $t$ , м;  $x$  – абсциса розрахункового перерізу, м;  $h = y + j \cdot x$  – висота води в розрахунковому перерізі в момент  $t$ , м;  $t$  – час, що відраховується від початку фази, с;  $h_c, H$  – висоти води на початку лінії депресії і на границі шару в момент  $t$ , м;  $j = tg \chi$

Рисунок 2 – Розрахункова схема руху води в дренажному шарі при наявності дрена

З урахуванням того, що на режим фільтрації безпосередньо впливають величина поперечного похилу, фільтраційні властивості матеріалу дренажу, початковий рівень води, надходження води знизу та зверху, різні величини надходження води зверху у межах покриття та узбіччя, геометричні параметри поперечного профілю дороги, запропоновано відповідну розрахункову схему (рис. 2).

Представлена схема безнапірного нестационарного руху води в площині до дренажної труби при наявності інфільтрації, надходження води знизу та похилій лінії водоупору підпорядковується рівнянню Буссінеска, яке для нашого випадку матиме такий вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[ (h - j \cdot x) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + C_{зв} = \frac{\mu}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t},$$

або

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[ y \cdot \left( \frac{\partial y}{\partial x} + j \right) \right] + C_{зв} = \frac{\mu}{K} \cdot \frac{\partial y}{\partial t}, \quad (2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт водовіддачі;

$\tilde{N}_{\text{га}}$  – ступені зволоження для проїзної частини та узбіч, у зв'язку з різними інфільтраційними характеристиками їх покриттів, будуть різними і становитимуть,

відповідно:  $C_{зв}^{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{заг}}^{\text{пр}}}{K}$  та  $C_{зв}^{\text{узб}} = \frac{Q_{\text{заг}}^{\text{узб}}}{K}$ ;

$Q_{\text{заг}}^{\text{пр}} = q_0 + Q_1$  – загальна величина надходження вологи в межах проїзної частини, л/(м<sup>2</sup>·доба);

$Q_{\text{заг}}^{\text{узб}} = q + Q_1$  – загальна величина надходження вологи в межах узбіччя, л/(м<sup>2</sup>·доба);

$q$  – величина надходження інфільтраційної вологи в основу дорожнього одягу через узбіччя, м<sup>3</sup>/добу на 1 м<sup>2</sup>;

$q_0$  – величина надходження вологи в основу дорожнього одягу через покриття, м<sup>3</sup>/доба на 1 м<sup>2</sup>.

Для практичного застосування при проектуванні дренажних шарів значення мають параметри  $h$ ,  $q_1$  – дебіт на один метр погонної довжини дрени при  $x = 0$  у момент  $t$ , м<sup>3</sup>/с на 1 м довжини труби;  $Q_1$  – загальна витрата води за час  $t$ , м<sup>3</sup>.

Зроблено припущення, що у весняний період, коли поперечні випуски ще не звільнилися від льоду та не забезпечують відведення води, відбувається процес інфільтрації з верхньої частини дорожньої конструкції та спостерігається відтискання води знизу при розтаванні ґрунту земляного полотна. Вода накопичується у дренажному прошарку. У початковий момент часу ( $t_0$ ) поверхня води у шарі є горизонтальною і її шар має певну висоту ( $H_0$ ). При розмерзанні випусків ( $t = 0$ ) рівень води при  $x = 0$  раптово змінюється, набравши значення  $h_2$  і зберігаючи на контурі дренажу це постійне значення в подальшому. У роботі розглянуто першу фазу нестационарного руху рідини – поширення зони депресії від

$x = 0$  до  $x = L$  за проміжок часу  $T_1$  при постійному рівні води на контурі дренажу  $h_2 = h_c$ . У випадку осушення дренаючого шару трубчатими дренами  $h_2$  зазвичай не перевищує 0,05 м. Перша фаза є важливою, з точки зору визначення максимальної глибини фільтраційного потоку, оскільки протягом другої фази – осушення – відбувається зниження рівня води аж до досягнення шаром капілярної вологості.

Для вирішення задач неусталеної фільтрації успішно був використаний метод послідовної зміни стаціонарних станів. Знайдемо розрахункові характеристики піщаного дренаючого шару дорожньої конструкції, врахувавши особливий режим зволоження: надходження води зверху та знизу, а також різні величини надходження інфільтраційної вологи через покриття та узбіччя:

$$h = H = H_0 + \frac{Q_{\text{заг}}}{\mu} \cdot t = H_0 + \frac{C_{\text{зв}} \cdot K}{\mu} \cdot t, \quad \left( y = H_0 - j \cdot x + \frac{C_{\text{зв}} \cdot K}{\mu} \cdot t \right), \quad (3)$$

де  $H, H_0$  – висоти води на границі шару і на початку лінії депресії в момент  $t_0$ , м;

$Q_{\text{цаа}}^{\text{іо}}$  – загальна величина надходження вологи, яка приймається рівною  $Q_{\text{цаа}}^{\text{іо}}$  або  $Q_{\text{цаа}}^{\text{оца}}$  в залежності від того, для проїзної частини, чи для узбіччя виконується розрахунок.

З рівнянь (2) при  $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$  ( $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$ ) матимемо:

$$(h - j \cdot x) \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{A}{2} - C_{\text{зв}} \cdot x, \quad (4)$$

або

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{A - 2 \cdot C_{\text{зв}} \cdot x}{2 \cdot y} - j,$$

де  $A$  – стала інтегрування.

Функція  $y(h)$  має задовольняти такі граничні умови:

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0: y &= h_c \quad (h = h_c), \\ \text{при } x = l: y &= H_0 - j \cdot l + \frac{C_{\text{зв}} \cdot K}{\mu} \cdot t, \quad \left( h = H_0 + \frac{C_{\text{зв}} \cdot K}{\mu} \cdot t > h_c \right). \end{aligned} \quad (5)$$

$$q_l = \frac{K}{2} \cdot A = \frac{K \cdot H_0^2}{2 \cdot L} \alpha, \quad (6)$$

де  $\alpha = A \cdot \frac{L}{H_0^2}$ .

$$Q_t = \mu \cdot \left( H_0 \cdot l - j \cdot \frac{l^2}{2} + \frac{C_{\text{зв}} \cdot K \cdot l}{\mu} \cdot t \right). \quad (7)$$

У **третьому розділі** для реалізації цього комплексу моделей (системи рівнянь) використовували сучасні числові методи з певним пристосуванням їх до специфічного класу розглянутих задач, а саме: запропоновано та обґрунтовано використання методу прогону для розрахунку параметрів роботи піщаного дренуючого шару дорожньої конструкції (висоти шару води у певний момент часу у певному перерізі, дебіту на один метр погонний довжини дрени при  $x = 0$  у момент  $t$  та загальної витрати води за час  $t$ ).

У загальному вигляді такі системи записують так:

$$\begin{aligned} a_i \cdot x_{i-1} + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} &= d_i, \\ 1 \leq i \leq n; a_1 &= 0; c_n = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 \cdot x_1 + c_1 \cdot x_2 = d_1 \\ a_2 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + c_2 \cdot x_3 = d_2 \\ a_3 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + c_3 \cdot x_4 = d_3 \\ a_i \cdot x_{i-1} + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_{i+1} = d_i \\ a_{n-1} \cdot x_{n-2} + b_{n-1} \cdot x_{n-1} + c_{n-1} \cdot x_n = d_{n-1} \\ a_n \cdot x_{n-1} + b_n \cdot x_n = d_n. \end{array} \right. \quad (9)$$

Виведено та описано модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренуючих шарах за методом прогону. Розроблено схему реалізації запропонованої математичної моделі (рис. 3) переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги та на основі представленої модифікованої математичної моделі руху фільтраційної води в дорожній конструкції розроблено розрахункову інформаційно-аналітичну систему, яка дає змогу будувати тривимірні графіки зміни величин  $y$ ,  $q_l$  та  $Q_t$  по довжині та у часі.

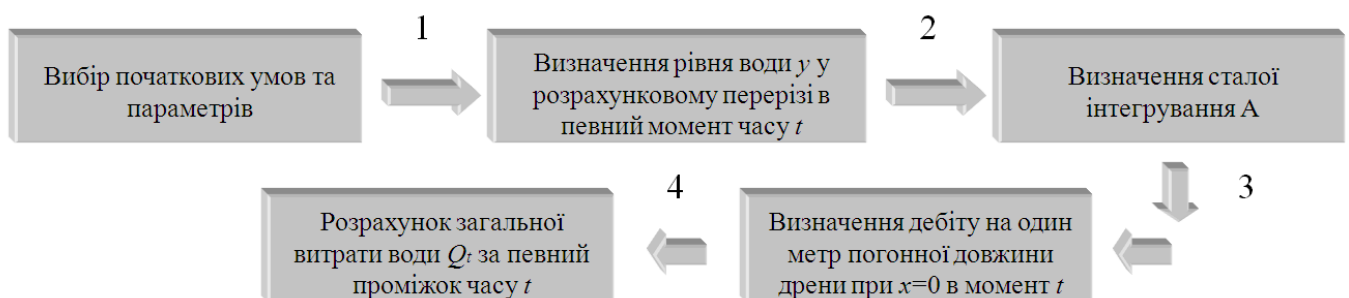


Рисунок 3 – Порядок розрахунку параметрів піщаного шару дренажної системи мілкового закладення

**Четвертий розділ** присвячений практичним аспектам використання удосконаленого методу визначення параметрів поздовжніх дренажних систем у робочій зоні земляного полотна. Однією із задач проведення розрахунків є

визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції при розтаванні ґрунту земляного полотна та дорожнього одягу за двома різними методами. Тим самим перевірено доцільність застосування точного методу розрахунку і виконано оцінку ступеня впливу вологи від розтавання на загальне значення кількості вологи. Крім того, розраховано величину надходження інфільтраційної вологи у період з плюсовими температурами та визначено розрахунковий (найбільш несприятливий) період шляхом додавання величин надходження вологи протягом року від різних джерел. На завершальному етапі розрахунків визначено необхідну товщину піщаного дренажного шару з використанням однакових вихідних даних за різними методами та із застосуванням удосконаленого методу, на основі якого розроблена розрахункова інформаційно-аналітична система.

Як показав розрахунок, фактична величина надходження води, яка звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною у 1981, 2001 та 2011 рр. не перевищувала  $1 \text{ л/м}^2$  за добу, у 1991 р. ця величина досягала позначки близько  $1,8 \text{ л/м}^2$  за добу. З проведених розрахунків можна зробити висновок, що волога, яка звільняється при розтаванні ґрунту під проїзною частиною не є визначальною при формуванні несприятливого водно-теплого режиму земляного полотна. Для перевірки виконано розрахунок кількості вологи, яка надходить від інших джерел зволоження. У першу чергу – це інфільтраційна волога від розтавання снігу та льоду на узбіччях і розділювальній смузі та інфільтраційна волога від атмосферних опадів.

Результати проведеного дослідження показали значну різницю розрахованих величин, отриманих за різними методами (рис. 4).

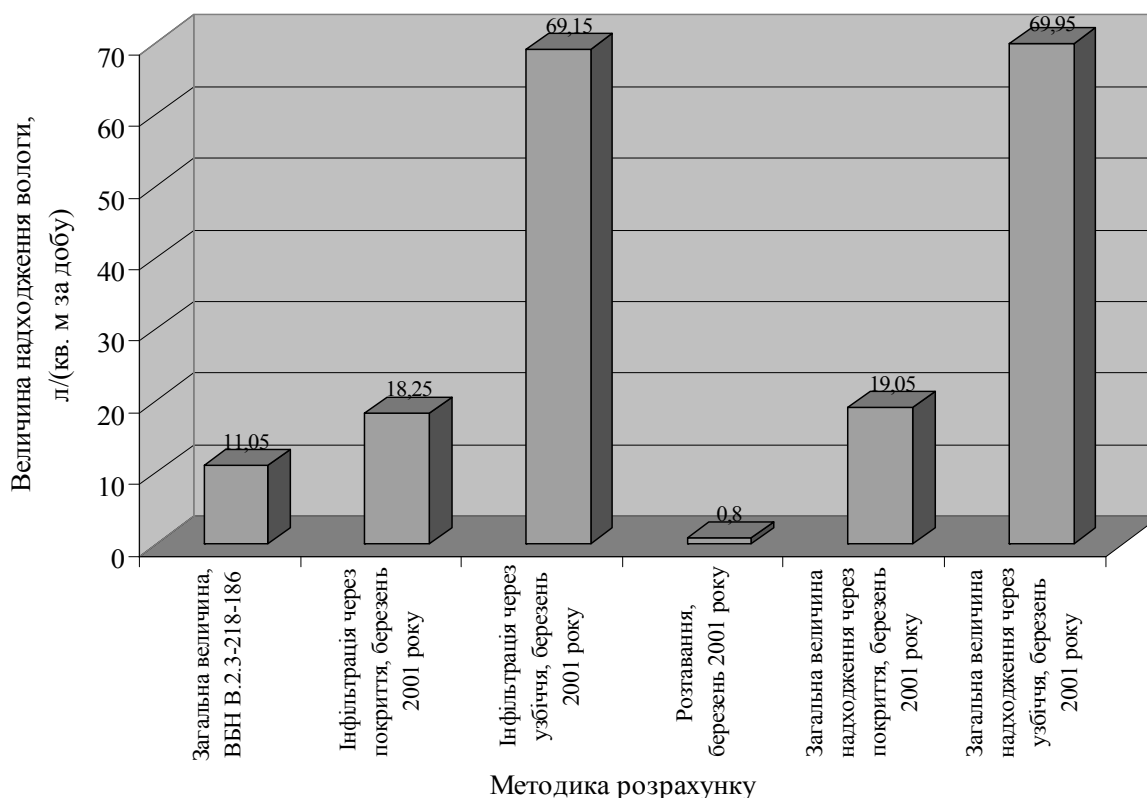
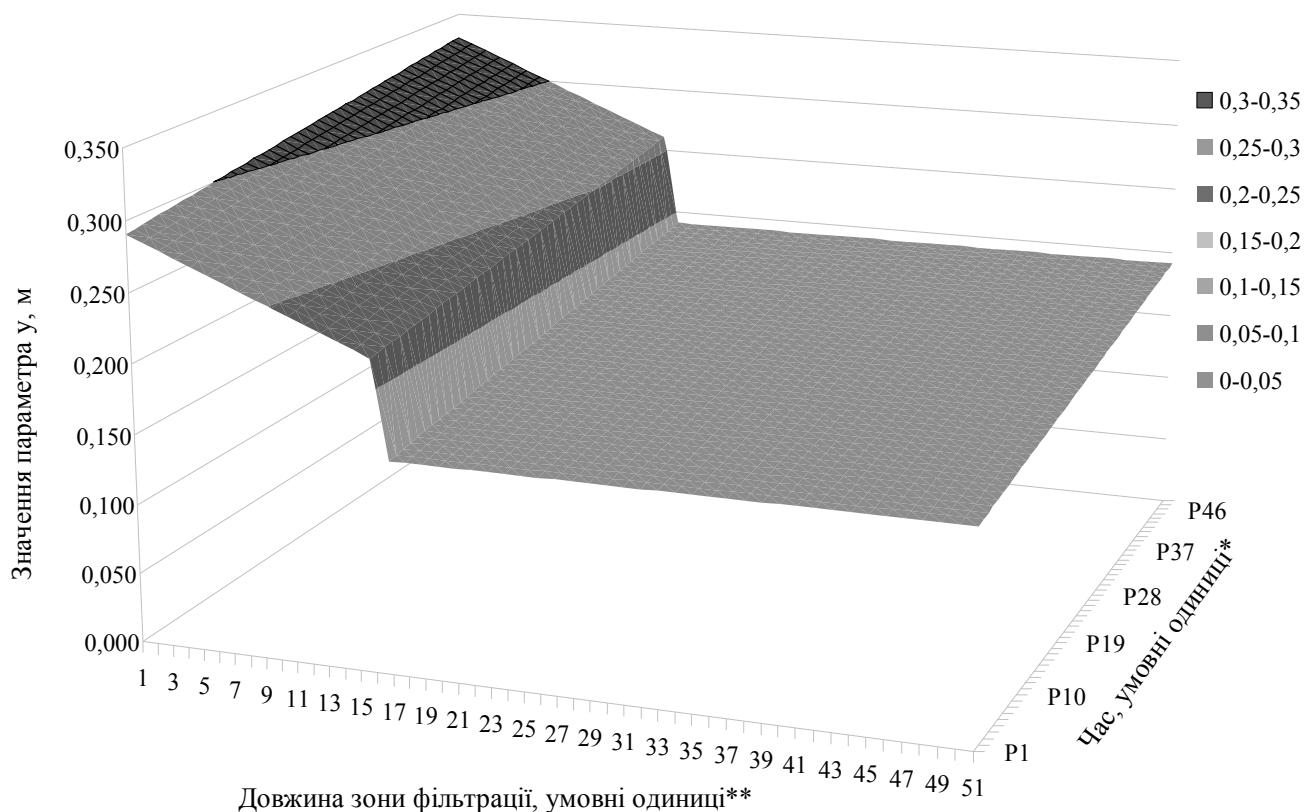


Рисунок 4 – Порівняння результатів розрахунку величини надходження вологи до дорожньої конструкції за різними методами

Далі було виконано порівняльне дослідження товщини піщаного дренажного шару дренажної конструкції мілкого закладення, який працює за принципом осушення, отриманої з використанням різних методів. Результати розрахунків наведені у графічній формі на рис. 5.



\* – значенням на осі відповідають такі параметри часу: P0 – 0 с, P46 – 86400 с;

\*\* – для можливості проведення універсальних розрахунків з використанням різних параметрів ширини зони фільтрації у розрахунковій програмі використано адаптивну вісь, яка відповідає ширині зони фільтрації, зі змінною ціною поділки

Рисунок 5 – Приклад діаграми зміни товщини шару води у дренажному шарі з часом та по ширині з наявністю початкового рівня води

Основну вихідну величину – розрахунковий об'єм води, що надходить до основи, прийнято відповідно до діючих нормативів, для можливості порівняння результатів розрахунків за декількома методами. Крім того, розраховано товщину піщаного дренажного шару за розробленим удосконаленим методом, виходячи із розрахованих величин надходження вологи відповідно до статистики 2001 року, коли спостерігався дощ великої інтенсивності та протягом короткого проміжку часу випала значна кількість опадів. Визначено окремо товщини дренажних шарів, необхідні для ефективного відведення розрахункової кількості вологи у межах проїзної частини та узбіччя з метою перевірки гіпотези, відповідно до якої для економії матеріалу доцільно влаштовувати дренажний шар у межах проїзної частини меншої товщини, ніж у межах узбіч.

Порівняння результатів розрахунків наведено на рис. 6.

На прикладі автомобільної дороги Н-01 Київ – Знам'янка у Київській області розглянуто практичні аспекти застосування удосконаленого методу визначення параметрів поздовжніх дренажних систем в робочій зоні земляного полотна.

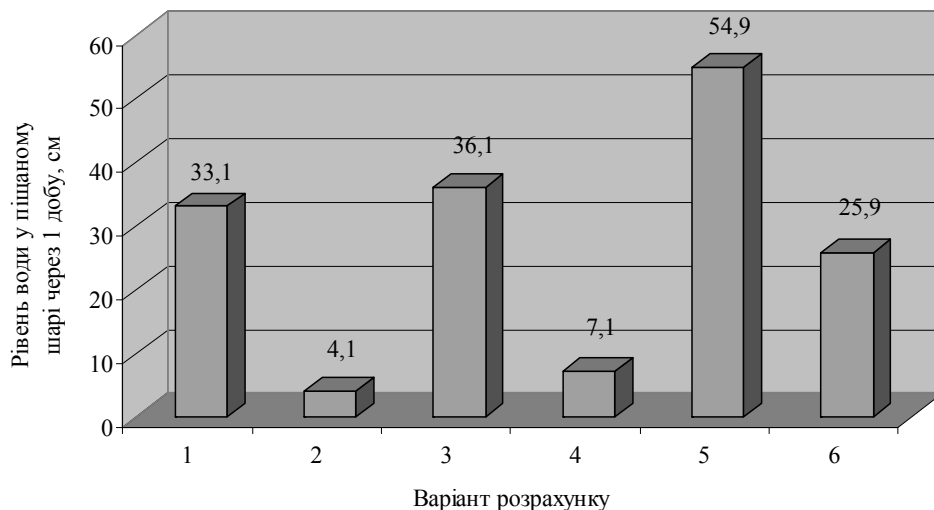


Рисунок 6 – Порівняння результатів розрахунку зміни рівня води у піщаному дренажному шарі при різних умовах зволоження протягом однієї доби

Запропоновано чотири конструкції піщаного дренажного шару робочої зони земляного полотна (варіанти конструкцій поперечного перетину дороги зображені на рисунках 7 (варіанти 1-3) та 8 (варіант 4)):

1. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 17 см (згідно з ВБН В.2.3-218-186, розрахунок за методом осушення).

2. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 15 см (згідно з М 218-02070915-684, розрахунок за методом осушення).

3. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс та незмінною товщиною по ширині поперечного перетину – 41 см (згідно з М 218-02070915-684, розрахунок за методом поглинання).

4. На всю ширину земляного полотна з виходом на укіс і різною товщиною піщаного шару у межах проїзної частини та узбіч – 36 см та 55 см відповідно (згідно з даними, розрахованими за удосконаленим методом).

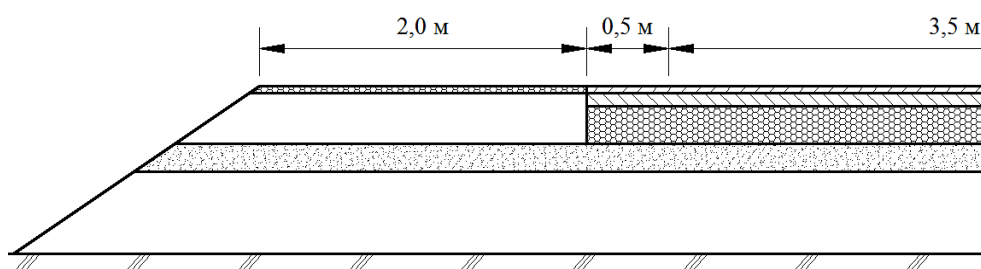


Рисунок 7 – Конструкція поперечного перетину дороги варіантів 1-3

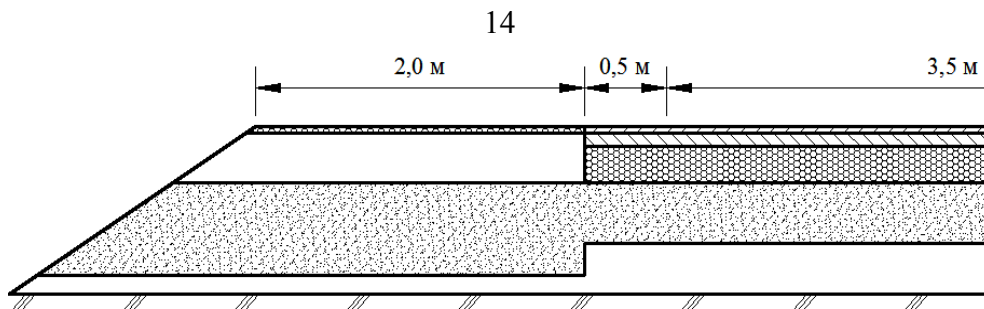


Рисунок 8 – Конструкція поперечного перетину дороги варіанту 4

Отже, в залежності від обраного методу розрахунку товщина піщаного дренажного шару у межах проїзної частини складає від 15 см до 41 см. Товщини, розраховані згідно з діючими нормативами за методом осушення, є заниженими та можуть спричинити передчасне руйнування конструкції у зв'язку із нездатністю піщаного шару відвести розрахунковий об'єм води у несприятливий період. Товщина піщаного дренажного шару, визначена із застосуванням удосконаленого методу становить 36 см та менша від товщини, розрахованої за методом поглинання згідно з діючими нормативами на 5 см. Якщо ж розглянути отримані конструкції дорожнього одягу у межах узбіч, то для перших трьох варіантів товщина піщаного шару у межах узбіч є такою ж як і у межах проїзної частини. Як показав розрахунок за удосконаленим методом, такі товщини є недостатніми для нормальної роботи конструкції в умовах надмірного зволоження у несприятливий період. Згідно з результатами, отриманими з використанням удосконаленого методу, необхідна товщина піщаного дренажного шару у межах узбіч для даного випадку складає 55 см, що на 14 см перевищує проектну товщину дренажного шару, отриману за методом поглинання згідно з діючими нормативами.

За результатами розрахунку на міцність з'ясовано, що ослаблення конструкції за рахунок зниження товщини піщаного дренажного шару є незначним, а економічне порівняння варіантів підтвердило, що капітальні вкладення у влаштування дренажної системи мілкового закладення із піщаним шаром, розрахованим за удосконаленим методом, є ефективними.

## ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає в розвитку теоретичних і практичних положень, а саме: удосконаленні методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення з використанням математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна та піщаному дренажному прошарку автомобільної дороги, з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

Здійснені у дисертаційній роботі дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. У вітчизняній нормативній базі та науковій літературі недостатньо уваги приділено питанням точного визначення величини надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел зволоження протягом року та розрахунку товщини піщаного дренажного шару з урахуванням особливостей руху води у



пористому середовищі при наявності інфільтрації. Обстеження, проведені протягом 2011-2015 років дають підстави стверджувати, що значна кількість руйнувань та деформацій, які виникають на автомобільних дорогах загального користування України, пов'язані саме з незабезпеченням сприятливого водно-теплового режиму роботи конструкції.

2. З метою обґрунтування реальної фізичної моделі переносу фільтраційного потоку у пористому середовищі дренажного шару робочої зони земляного полотна сформульовано початкові та граничні умови, згідно з якими враховано, що до робочої зони надходить інфільтраційна волога та волога від розтавання дорожньої конструкції, а також має місце початковий рівень води у період розмерзання границі виходу з дренажного шару (укіс земляного полотна або поперечний випуск води з поздовжньої дрени).

3. Запропоновано нестационарну математичну модель переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках на основі методу послідовної зміни стаціонарних станів для визначення розрахункових характеристик піщаного дренажного шару дорожньої конструкції з урахуванням особливостей режиму зволоження. Отримано дискретні аналоги рівнянь переносу фільтраційного потоку.

4. Запропоновано метод прогону для реалізації математичної моделі. Виведено та описано модифіковані рівняння переносу фільтраційного потоку в дренажних шарах за методом прогону та розроблено розрахункову інформаційно-аналітичну систему для визначення рівня води у піщаних дренажних шарах.

5. Розроблено метод розрахунку дренажних систем мілкового закладення, розміщених у робочій зоні земляного полотна автомобільних доріг, на основі нестационарної математичної моделі переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках при наявності інфільтрації, надходження води знизу та наявності початкового рівня води, а також при різній інтенсивності зволоження по довжині зони фільтрації.

6. Результати дослідження знайшли своє втілення при проектуванні системи регулювання водно-теплового режиму реально існуючого об'єкта. Виконано розрахунок величин надходження вологи до дорожньої конструкції від різних джерел зволоження протягом року та товщини піщаного дренажного шару з використанням діючих та удосконалених методів. Розраховано товщини дренажних шарів, необхідні для ефективного відведення розрахункової кількості вологи у межах проїзної частини та узбіч.

Доведено, що отримані за удосконаленим методом величини надходження вологи та товщини піщаного дренажного прошарку (у межах узбіччя) перевищують визначені за існуючими методами, які сьогодні застосовуються у проектуванні:

– загальна величина надходження вологи відповідно до ВБН В.2.3-218-186 становить  $11,05 \text{ л/м}^2$  за добу, загальна величина надходження вологи через узбіччя у березні 2001 року становила  $69,95 \text{ л/м}^2$  за добу – різниця більше, ніж у 6 разів;

– розрахована відповідно до ВБН В.2.3-218-186 товщина піщаного дренажного шару є незмінною по ширині конструкції і меншою від товщини піщаного дренажного шару в межах узбіч, визначеної за удосконаленим методом, у більше, ніж 1,65 разів.

Також встановлено, що наявність початкового рівня води (у нашому випадку – 0,29 м) суттєво впливає на загальну величину рівня води; через поверхню узбіч до конструкції більше надходить води від атмосферних опадів (69,15 л/м<sup>2</sup> за добу у березні 2001 року), ніж через поверхню покриття (18,25 л/м<sup>2</sup> за добу у березні 2001 року) і, відповідно, рівень води у конструкції узбіч є вищим, тому доцільно піщаний дренуючий шар дренажної системи мілкого закладення у межах узбіч влаштовувати більшої товщини, ніж у межах проїзної частини.

Визначено економічну ефективність від впровадження результатів досліджень шляхом порівняння двох варіантів: дорожнього одягу з дренажем мілкого закладення традиційної (розрахованої згідно з діючими нормативами документами) конструкції та дорожнього одягу із дренажем мілкого закладення, запроєктованим відповідно до розробленого удосконаленого методу.

Виходячи з результатів розрахунків, можна вважати, що капітальні вкладення у влаштування дренажної системи мілкого закладення із піщаним шаром, розрахованим за удосконаленим методом, є ефективними, оскільки фактичний коефіцієнт ефективності ( $E=1,54$ ) перевищує нормативний коефіцієнт ефективності ( $E_H = 0,12$ ).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у виданнях іноземних держав:

1. Styozhka V. Improvement of the calculation method for the sand layer of a shallow drainage system / O. Slavinska, V. Styozhka // The Advanced Science Journal. – Vol. 2015. – Issue 4. – P. 13–20. ISSN 2219-746X.

*Особистий внесок* – розробка модифікованої математичної моделі руху води в дорожній конструкції та розрахунок зміни рівня води у піщаному дренуючому шарі в розрізі часу та по довжині зони фільтрації.

### Статті у наукових фахових виданнях:

2. Стьожка В.В. Теоретичні засади розрахунку течій в дренажних конструкціях мілкого закладання / В.В. Стьожка // Гідравліка і гідротехніка : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2009. – Вип. 63. – С. 23–27.

3. Стьожка В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками / Славінська О.С., Стьожка В.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2009. – Вип. 3, Ч. 1. – С. 488–495.

*Особистий внесок* – аналіз особливостей процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками, порівняльний розрахунок із застосуванням різних методів.

4. Стьожка В.В. Аналіз досліджень вологонакопичення у верхній частині дорожньої конструкції / Славінська О.С., Стьожка В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2009. – Вип. 77. – С. 69–74.

*Особистий внесок* – проаналізовано умови зволоження дорожніх конструкцій у різних умовах та існуючі методи кількісної оцінки цього процесу, зроблено

висновки про необхідність розробки удосконаленого методу, який би більш точно враховував індивідуальні особливості регіону.

5. Стьожка В.В. Визначення основних параметрів дренажних систем мілкового залягання / О.С. Славінська, В.В. Стьожка // Автошляховик України. – 2010. – № 6. – С. 40–44.

*Особистий внесок* – обґрунтовано необхідність та доцільність використання рівнянь плавномірного нестационарного руху рідини при розрахунку піщаних дренажних прошарків.

6. Стьожка В.В. Методи визначення параметрів дренажу мілкового залягання на автомобільних дорогах з урахуванням річного циклу роботи / Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьожка В.В. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 17. – С. 19–26.

*Особистий внесок* – запропоновано розрахункову схему роботи дренажного шару за принципом осушення; досліджено вплив рухомого складу на зниження пропускної здатності дренажного шару з часом.

7. Стьожка В.В. Індивідуальний підхід при проектуванні дренажів мілкового залягання з урахуванням кліматичних особливостей регіону / Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьожка В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – К. : НТУ, 2011. – Вип. 80. – С. 3–15.

*Особистий внесок* – проаналізовано основні фактори, які формують водно-тепловий режим верхньої частини земляного полотна та основи дорожнього одягу; розглянуто методи визначення параметрів дренажних систем мілкового залягання з урахуванням режиму руху рідини, підвищення щільності піщаного шару з часом, особливостей клімату регіону будівництва.

8. Стьожка В.В. Дослідження впливу вібрації на фільтраційну здатність піску / В.В. Стьожка // Автошляховик України. – 2012. – № 6. – С. 28–35.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

9. Стьожка В.В. Пропозиції щодо удосконалення існуючих методик проектування дренажних систем / Славінська О.С., Стьожка В.В. // LXV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2009. – С. 105.

10. Стьожка В.В. Аналіз процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками / Славінська О.С., Стьожка В.В. // LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2010. – С. 116.

11. Стьожка В.В. Визначення кількості вологи, що надходить до верхньої частини земляного полотна в різні періоди року / Славінська О.С., Стьожка В.В. // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2011. – С. 91.

12. Стьожка В.В. Вплив вібраційного навантаження від транспортного потоку на інтенсивність фільтрації вільної води у додатковому шарі основи з піску /

Славінська О.С., Стьожка В.В., Плотник С.Л. [та ін.] // LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2012. – С. 110.

13. Стьожка В.В. Дослідження впливу вібраційного навантаження від транспортного потоку на інтенсивність фільтрації вільної води у додатковому шарі основи з піску / Славінська О.С., Стьожка В.В., Строкач О.С. // Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах : міжнародна науково-технічна конференція : тези доповідей. – К., 2012. – С. 6.

14. Стьожка В.В. Дослідження впливу вібрації на фільтраційну здатність піску / Славінська О.С., Стьожка В.В. // Проблеми сучасного будівництва : матеріали Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 87–89.

15. Стьожка В.В. Врахування зміни особливостей водно-теплового режиму за останні десятиріччя при формуванні програми обстеження експлуатаційного стану доріг / Савенко В.Я., Стьожка В.В., Клімашевський О.О. // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 108.

16. Стьожка В.В. Результати експериментального дослідження дії вібрації від рухомого складу на значення коефіцієнту фільтрації пісків різної крупності / Стьожка В.В., Семенюк В.А., Трохименко А.О. // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 121.

17. Стьожка В.В. Проблеми визначення пропускної здатності дренажних систем в робочій зоні земляного полотна / Славінська О.С., Стьожка В.В., Савенко С.С. [та ін.] // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2013. – С. 126.

18. Стьожка В.В. Математична модель руху води у піщаному дренажному шарі дорожньої конструкції: перша та друга фази / Стьожка В.В. // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2014. – С. 112.

19. Стьожка В.В. Про удосконалення розрахунку дренажних систем мілкового залягання з використанням методу послідовної зміни стаціонарних станів / Стьожка В.В. // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. – К. : НТУ, 2015. – С. 172.

## АНОТАЦІЯ

Стьожка В.В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет МОН України, Київ, 2015.

Дослідження спрямоване на удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення за рахунок використання математичної моделі переносу фільтраційного потоку в робочій зоні земляного полотна автомобільної дороги, з урахуванням спільного впливу різних джерел зволоження протягом року.

Запропоновано для вирішення задачі з визначення параметрів піщаного дренажного прошарку дренажної системи мілкового закладення розглядати нестационарну математичну модель переносу фільтраційного потоку на основі методу послідовної зміни стаціонарних станів з урахуванням особливостей режиму зволоження.

Застосовано метод прогону для розрахунку параметрів роботи піщаного дренажного шару дорожньої конструкції, виведено та описано відповідні модифіковані рівняння. Розроблено схему реалізації запропонованої математичної моделі та розрахункову інформаційно-аналітичну систему.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, водно-тепловий режим, дорожній одяг, дренаж мілкового закладення, земляне полотно, інфільтрація, фільтраційний потік.

## АННОТАЦИЯ

Стьожка В.В. Совершенствование метода расчета дренажных систем мелкого заложения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Национальный транспортный университет МОН Украины, Киев, 2015.

Исследование направлено на совершенствование метода расчета дренажных систем мелкого заложения за счет использования математической модели переноса фильтрационного потока в рабочей зоне земляного полотна автомобильной дороги, с учетом совместного воздействия различных источников увлажнения в течение года.

В качестве метода определения основной исходной величины для расчета параметров дренажа мелкого заложения предложен усовершенствованный метод определения общей величины поступления влаги в дорожную конструкцию от различных источников увлажнения в течение года и выбора расчетного (наиболее неблагоприятного с точки зрения водно-теплого режима) периода года. Приведены схемы последовательности расчета величин поступления влаги в дорожную конструкцию и параметров элементов дренажных систем рабочей зоны земляного полотна.

Предложено, для решения задачи по определению параметров песчаного дренирующего слоя дренажной системы мелкого заложения, рассматривать нестационарную математическую модель переноса фильтрационного потока на

основе метода последовательной смены стационарных состояний с учетом особенностей режима увлажнения: поступление воды сверху и снизу, а также различных величин поступления инфильтрационной воды через покрытие и обочину.

Обосновано использование метода прогонки для расчета параметров работы песчаного дренирующего слоя дорожной конструкции. Выведены и описаны модифицированные уравнения переноса фильтрационного потока в дренирующих слоях методом прогона.

Разработана схема реализации предложенной математической модели переноса фильтрационного потока в рабочей зоне земляного полотна автомобильной дороги. На основе представленной модифицированной математической модели движения фильтрационной воды в дорожной конструкции разработана расчетная информационно-аналитическая система. Она позволяет одновременно выполнять расчеты по нескольким наборам исходных данных и строить трехмерные графики изменения величин во времени и по длине.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, водно-тепловой режим, дорожная одежда, дренаж мелкого заложения, земляное полотно, инфильтрация, фильтрационный поток.

#### ANNOTATION

Stozhka V. Improvement in the method of calculation of shallow drainage systems. – The manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 – roads and aerodromes. – National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

Research aimed at improving the method of calculation of shallow drainage systems through the use of mathematical models transfer seepage in the working area of highway roadbed, taking into account the joint effect of different sources of humidification during the year.

A solution to the problem of determining the parameters draining sand layer shallow drainage system to consider a mathematical model of non-stationary transfer seepage on the basis of the succession of stationary states allowing for the regime moisture.

Run the method for calculating the parameters of the sand layer draining road construction, displayed and described respective modified equation. The scheme of implementation of the proposed mathematical model and estimated information system.

**Keywords:** road, water and thermal conditions, pavement, drainage shallow, subgrade, infiltration, filtration flux.