

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

ГАВРИЩУК ВЛАДИСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 625.745.3

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЙНОГО
ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Каськів Володимир Іванович,
Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»,
заступник директора з наукової роботи, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Кузло Микола Трохимович,
Національний університет водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів, м. Рівне.

кандидат технічних наук, доцент,
Стьожка Віталій Володимирович,
ТОВ «Гранбуд Лідер» директор, м. Київ

Захист відбудеться 23 квітня 2021 року о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Національного транспортного університету: 01103, Україна, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42

Автореферат розісланий «23» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан соціально-економічного розвитку країни призводить до постійного зростання кількості автомобілів та їх інтенсивності руху, що створює низку проблем, які пов'язані із необхідністю забезпечення безпеки дорожнього руху. Одним із конструктивних способів забезпечення безпеки руху є влаштування поперечних похилів проїзної частини автомобільних доріг для забезпечення поверхневого водовідведення.

Актуальним питанням залишається питання аквапланування. Аквапланування це лише одне із явищ, яке проявляється при відсутності зчеплення шини автомобільного колеса і вологої поверхні покриття. Крім того наявність шару стоків на проїзній частині в зимову пору року більш небезпечне явище ніж влітку.

Сьогодні якісне водовідведення на автомобільній дорозі, окрім підвищення безпеки руху транспортних засобів, забезпечує довговічність конструкції земляного полотна та дорожнього одягу, а також допомагає вирішити екологічні проблеми, знижуючи забруднення придорожньої зони продуктами зносу (шин, елементів тормозних систем автомобілів, дорожнього покриття тощо) та від неконтрольованих стоків, забруднених нафтопродуктами, важкими металами та антижелезними реагентами. Які при незадовільному поверхневому водовідведенні вільно попадають у ґрунт та водоносні шари.

Відомі методи проектування водовідведення з автомобільних доріг та заходи, які застосовуються на теперішній час не дають відповідного ефекту та не забезпечують якісний і своєчасний збір і транспортування стоків, зокрема до локальних очисних споруд.

Проектування водовідведення з доріг, зводиться до влаштування за типовими схемами ґрунтової або бетонної канави стандартних розмірів. Існуючий метод гідравлічних розрахунків не дозволяє підбирати переріз водовідвідної системи при проектуванні водовідведення на автомобільних дорогах, відсутність методики розрахунку водовідведення для лінійних у плані водозбірних басейнів, призводить до: засмічення системи водовідведення з подальшими додатковими витратами на її очищення; застою поверхневого стоку на покритті проїзної частини і узбіччях; просочення великих об'ємів дощового стоку в дорожню конструкцію.

Зазначені вище фактори суттєво впливають на довговічність дорожньої конструкції та на безпеку руху і свідчать про актуальність теми дисертаційного дослідження.

Мета і завдання дослідження. *Метою дослідження є удосконалення методу проектування лінійних лоткових каналів поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.*

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *завдання*:

- виконати аналіз методів проектування та розрахунку поверхневого стоку з автомобільних доріг;
- удосконалити метод розрахунку лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг;
- на основі теоретичних та експериментальних досліджень підтвердити достовірність результатів гідравлічного розрахунку за розробленим методом;

- розробити інженерну методику гідравлічного розрахунку системи лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільної дороги;
- запропонувати методику розрахунку очисних споруд дощових стоків та розробити санітарно-технічні рішення для доріг різних категорій.

Об’єкт дослідження – процес формування поверхневого стоку.

Предмет дослідження – метод проектування лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.

Методи дослідження – для вирішення поставлених у роботі задач використано наступні методи: методи гідравліки та інженерної гідрології; експериментально-аналітичні методи, методи математичного моделювання, статистичні методи, методи розрахунку очисних споруд.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм, зокрема «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382).

Наукові результати одержані у процесі виконання науково-дослідних робіт кафедрою транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету: «Удосконалення системи управління станом автомобільних доріг та методів їх оцінки» (ПК 0116U002491); та Тематичним планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України.

Наукова новизна отриманих результатів:

- обґрунтовані аналітичні залежності для визначення тривалості формування поверхневого стоку;

- вперше запропоновано, при гідрологічних розрахунках, врахувати реальну форму водозбірного басейну поверхневого стоку з проїзної частини з урахуванням її поздовжнього та поперечного похилів;

- удосконалено метод гідравлічного розрахунку проектування поверхневого водовідведення з автомобільної дороги;

- запропоновано ефективні форми перерізів лотків (V-подібний або еліпсоподібний) та визначено їх гідравлічні показники при частковому наповненні.

Практичне значення отриманих результатів: полягає в тому, що розроблені методика гідравлічного розрахунку системи лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільної дороги та санітарно-технічні рішення очистки дощових стоків для різних категорій автомобільних доріг, дозволяють забезпечити ефективне відведення поверхневих вод з проїзної частини і, як наслідок, підвищити безпеку руху, а також мінімізувати вплив автомобільного транспорту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на навколишнє середовище.

Спільно з ТОВ «Міжнародний проектний інститут» та ТОВ «Інститут комплексного проектування об’єктів будівництва» було виконано проектні рішення для влаштування лінійного поверхневого водовідведення при проектуванні об’єктів інфраструктури: «Будівництво автомобільної дороги на ділянці від державного кордону з Угорщиною до автомобільної дороги М-24 Велика Добронь – Мукачеве – Берегове – КПП Лужанка», Закарпатська область»; «Капітальний ремонт правобережних заплavnих прогонів мосту через р. Сула на км 170+867 автомобільної

дороги державного значення Н-08 Бориспіль – Дніпро – Запоріжжя (через Кременчук) – Маріуполь, Полтавська область»; «Капітальний ремонт автомобільної дороги державного значення Н-25 Городище – Рівне – Староконстянтинів на ділянках км 32+000 – км 37+000, км 37+000 – км 45+000, км 45+000 – км 50+000 Рівненська область»; «Техніко-економічне обґрунтування будівництва автомобільної дороги загального користування державного значення Н-08 Бориспіль – Дніпро – Запоріжжя (через м. Кременчук) – Маріуполь на ділянці обходу м. Кременчук з мостовим переходом через р. Дніпро в м. Кременчук, Полтавська область»; «Капітальний ремонт автомобільної дороги загального користування державного значення М-13 Кропивницький – Платонове (на м. Кишинів) на ділянках км 76+416 – км 99+484, км 99+484 – км 119+984 Миколаївська область».

Результати дисертаційної роботи були використані в навчально-методичному комплексі дисципліни «Будівництво і експлуатація інженерних мереж» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

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

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях: проведено аналіз діючих методів проектування водовідведення з автомобільних доріг – [2, 6]; виконано аналіз факторів, які впливають на точність гідравлічних розрахунків, досліджено вплив поздовжнього похилу автомобільної дороги на спотворення результатів розрахунків – [3]; визначено перспективні напрямки підвищення ефективності природоохоронних заходів, питання мінімізації впливу на навколишнє середовище забрудненого поверхневого стоку з проїзної частини, досліджено основні переваги впровадження сучасних рішень з водовідведення та визначено фактичну величину впливу транспорту на навколишнє середовище – [4, 9]; розроблено математичну модель формування поверхневого стоку, визначено тривалості формування поверхневого стоку для автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям при ширині проїзної частини (3,75-15) м – [1]; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування лоткових водовідвідних каналів для відведення поверхневого стоку з покриття автомобільних доріг – [5], виконано аналітичні та експериментальні дослідження пропускнуої здатності лоткових водовідвідних каналів [10, 11].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичних моделей, коректною постановкою умов, чітким математичним описом числових алгоритмів, співставленням числових розрахунків з результатами теоретичних та експериментальних досліджень інших авторів, апробацією результатів роботи на різних рівнях.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- щорічний 76-й науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (2020 р.);

- VII Міжнародній науково-практичній конференції «GOAL AND ROLE OF WORLD SCIENCE IN MODERNITY» (March 09-10, 2020). Helsinki, Finland 2020;

- X Міжнародна науково-практична конференція «MODERN APPROACHES TO THE INTRODUCTION OF SCIENCE INTO PRACTICE» (March 30-31, 2020). San Francisco, USA 2020;

- Міжнародній науково-технічній конференції PERSPECTIVE DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND PRACTICE» 8 – 9 June, 2020. Athens, Greece 2020.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 11 наукових праць, у тому числі: 4 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 1 стаття у зарубіжному виданні, яке включене до наукометричної бази Scopus; 4 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 2 праці додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 196 найменувань та чотири додатки. Основний текст викладений на 135 сторінках. Текст ілюструється 78 рисунками і містить 20 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику роботи. В ньому обґрунтована загальна актуальність вибраної теми, сформульовані мета та задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів дисертації. Наведено відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану проблеми поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг. Наводяться основні аналітичні розрахунки та методи проектування поверхневого водовідведення з покриття проїзної частини автомобільних доріг.

Основні дослідження даного напрямку виконували: М.І. Алексєєв, Б.Ф.Перевозніков, В.О. Большаков, О.А. Курганович, П.М. Лютік, Л.Г. Бегам, О.К. Біруля, В.С. Дикаревський, А.М. Курганова, В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, Г.Р. Седергрєн, Дж. Гуо (J. Guo), В. Хубер (V. Huber), С.Г. Ткачук, В.М. Жук, М.М. Константинов, Д.В. Штеренліхт, А.М. Петров та ін.

Виконано аналіз методів розрахунку витрати стоків з покриттів: метод граничних інтенсивностей, раціональний метод, графічний метод, SCS США, метод Андерсона та заходів щодо влаштування поверхневого водовідведення з покриття проїзної частини автомобільних доріг. Встановлено, що метод граничних інтенсивностей для лінійних в плані об'єктів, який є загальноприйнятим в Україні, вносить значні погрешності у визначенні витрат стоків з покриттів.

Питання проектування водовідведення на автомобільних дорогах загального користування в Україні досліджене недостатньо.

Відсутність методики для розрахунку поверхневого водовідведення, яка б враховувала реальну форму водозбору та тривалість формування поверхневої концентрації стоку вносить значні погрішності в проектні рішення, що впливає не лише на зволоження ґрунту земляного полотна, а і на безпеку учасників дорожнього руху, зокрема через можливість виникнення явища аквапланування.

Вплив автомобільного транспорту та заходів із експлуатаційного утримання автомобільних доріг обумовлюють суттєве погіршення екологічного стану поверхневого стоку з проїзної частини, що обумовлює необхідність влаштування локальних очисних споруд. Вищенаведені недоліки в методиці розрахунку поверхневого стоку суттєво впливають на точність розрахунків цих споруд.

Методика для проектування мереж дощової каналізації не може застосовуватись для розрахунку лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.

Вищенаведене обумовлює необхідність розроблення методу проектування поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг.

У другому розділі викладено теоретичні аспекти удосконалення методу розрахунку лінійного водовідведення з поверхні проїзної частини автомобільної дороги. З цією метою розроблено математичну модель визначення тривалості формування поверхневого стоку.

Фактичні умови утворення поверхневого стоку з дорожніх покриттів дослідженні недостатньо, зокрема, не враховуються особливості стоку з мікробасейнів. Тривалість поверхневої концентрації стоку залежить від двох параметрів: час, який витрачається на змочування поверхні та тривалість добігання стоку від найвіддаленішої точки басейну до водовідвідного каналу.

$$t_{con} = t_{зм} + t_{д}, \quad (1)$$

де t_{con} – тривалість формування поверхневого стоку, с;

$t_{зм}$ – тривалість змочування покриття, с;

$t_{д}$ – тривалість добігання стоку до розрахункового перерізу від найвіддаленішої точки водозбірного басейну.

Тривалість часу на змочування покриття доцільно визначити з умови, що на поверхні покриття утворена плівка рідини, але рух стоку по ній відсутній. Цю умову можна віднести до початкової.

Розглянемо сили, які діють на рідину в момент руху по покриттю (рис. 1).

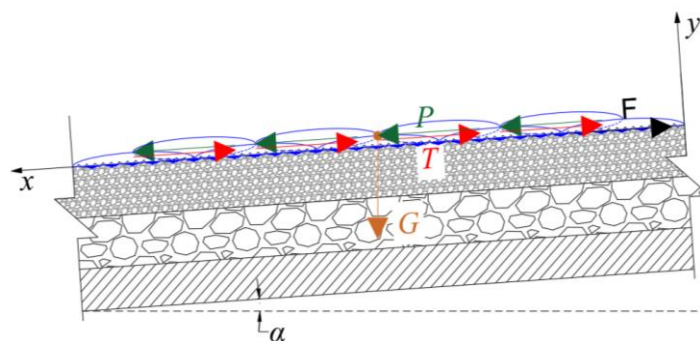


Рисунок 1 – До визначення рівняння руху рідини на поверхні

$$G - T + P = F, \quad (2)$$

де G – сила тяжіння, Н;

T – сила в'язкості, Н;

P – сила пружності, Н;

F – сила протидії руху рідини по покриттю, Н.

Силу в'язкості представлена у вигляді:

$$T = \rho \cdot \nu \cdot S \cdot \frac{dl}{dt}, \quad (3)$$

де ρ – густина рідини, кг/см³;

ν – кінематична в'язкості, м²/с;

S – площа тертя, м²;

$\frac{dl}{dt}$ – градієнт швидкості, зміна швидкості на одиницю довжини, с⁻¹.

Проекції сили тяжіння на осі мають вигляд:

$$G_h = m \cdot \sin\alpha \cdot \frac{d^2l}{dt^2}, \quad (4)$$

$$G_v = m \cdot \cos\alpha \cdot \frac{d^2l}{dt^2}, \quad (5)$$

де α – похил покриття, град.;

m – маса рідини, кг.

Сили пружності:

$$P = A \cdot l, \quad (6)$$

де A – жорсткість рідини, Н/м;

l – переміщення рідини, м.

Враховуючи, що до розгляду прийнято елементарний об'єм, з розміром dh та виразивши густину рідини через співвідношення маси тіла до його об'єму, отримаємо:

$$m \cdot \sin\alpha \cdot \frac{d^2l}{dt^2} + m \cdot \cos\alpha \cdot \frac{d^2l}{dt^2} - \frac{\nu \cdot m}{h} \cdot \frac{dl}{dt} + A \cdot l = F. \quad (7)$$

Після перетворень, рівняння (7) набуває вигляду:

$$\frac{d^2l}{dt^2} + 2n \cdot \frac{dl}{dt} + k^2l = F_1, \quad (8)$$

де

$$-\frac{\nu}{2 \cdot h(\cos\alpha + \sin\alpha)} = n. \quad (9)$$

$$\sqrt{\frac{A}{m \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha)}} = k. \quad (10)$$

$$\frac{F}{m \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha)} = F_1. \quad (11)$$

З початковими умовами:

$$l(0) = 0, \frac{dl}{dt}(0) = V_0. \quad (12)$$

Загальний розв'язок з початковими умовами (12):

$$l = \frac{r_2 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w} \cdot e^{r_1 t} + \frac{r_1 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w} \cdot e^{r_2 t} + \frac{U}{k^2}. \quad (13)$$

При змінній інтенсивності дощу:

$$F_1 = \alpha \cdot t, \quad (14)$$

де α – коефіцієнт зміни інтенсивності, яка характеризує кількість стоку, що призводить до руху поверхневий шар.

З урахуванням (9), (10), (14) рівняння (15) та після перетворень можна подати у вигляді:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \cdot \frac{dl}{dt} + k^2 \cdot l = \alpha \cdot t. \quad (15)$$

Маємо лінійне неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку із сталими коефіцієнтами, з такими початковими умовами:

$$l(0) = 0, \frac{dl}{dt}(0) = 0. \quad (16)$$

Загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння, що задовольняє початковим умовам (16), має вигляд:

$$l = e^{-nt} \left(2n \cdot \frac{q}{k^4} \cos w_1 t + \frac{V_0 + 2n^2 \cdot \frac{q}{k^4}}{w} \sin w_1 t \right) + \frac{q}{k^2} t - 2n \frac{q}{k^4}. \quad (17)$$

Розглянемо випадок, коли пружні властивості переважають в'язкі. В цьому випадку загальний розв'язок неоднорідного рівняння (8) має вигляд:

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos w_1 t + C_2 \sin w_1 t) + \frac{F_1}{k^2}. \quad (18)$$

При умові $n^2 - k^2 < 0$ мають місце затухаючі коливання:

$$l = e^{-nt}(C_1 \cos w_1 t + C_2 \sin w_1 t). \quad (19)$$

При умові $n^2 - k^2 > 0$ має місце аперіодичний рух. Загальний розв'язок рівняння має вигляд:

$$l = \frac{V_0}{2n}(1 - e^{-2nt}) = \frac{V_0 \cdot m}{c} \left(1 - e^{-\frac{c}{m}t}\right). \quad (20)$$

При умові $n^2 - k^2 = 0$ теж має місце аперіодичний рух. Загальний розв'язок рівняння:

$$l = V_0 e^{-nt}. \quad (21)$$

З метою отримання більш простої математичної моделі, придатної для численних практичних розрахунків, було розв'язано зворотну задачу, а саме за виглядом функції руху стоку по покриттю від часу, отриманої з результатів експериментальних досліджень, побудовано диференційне рівняння, для якого ця функція є розв'язком.

Досліджувана функція руху поверхневого стоку від часу має вигляд:

$$l = Q e^{-kt}. \quad (22)$$

При початкових умовах:

$$y(0) = Q; \frac{dy}{dt}(0) = -kQ, \quad (23)$$

$$k = \frac{c}{m} \cdot t, \quad (24)$$

$$T_\phi = \frac{B}{Q e^{-kt}}, \quad (25)$$

де T_ϕ – тривалість формування поверхневої концентрації, с;

c – коефіцієнт пружності, Па;

i – розрахунковий похил водозбірної ділянки, ‰;

B – розрахункова ширина водозбірного басейну, мм;

m – узагальнений коефіцієнт в'язкості, Па·с;

Q – інтенсивність опадів, мм/с;

t – тривалість дощу, с;

Результати розрахунків за отриманими залежностями для різної ширини проїзної частини та тривалості поверхневої концентрації для різної інтенсивності опадів наведені на рис. 2.

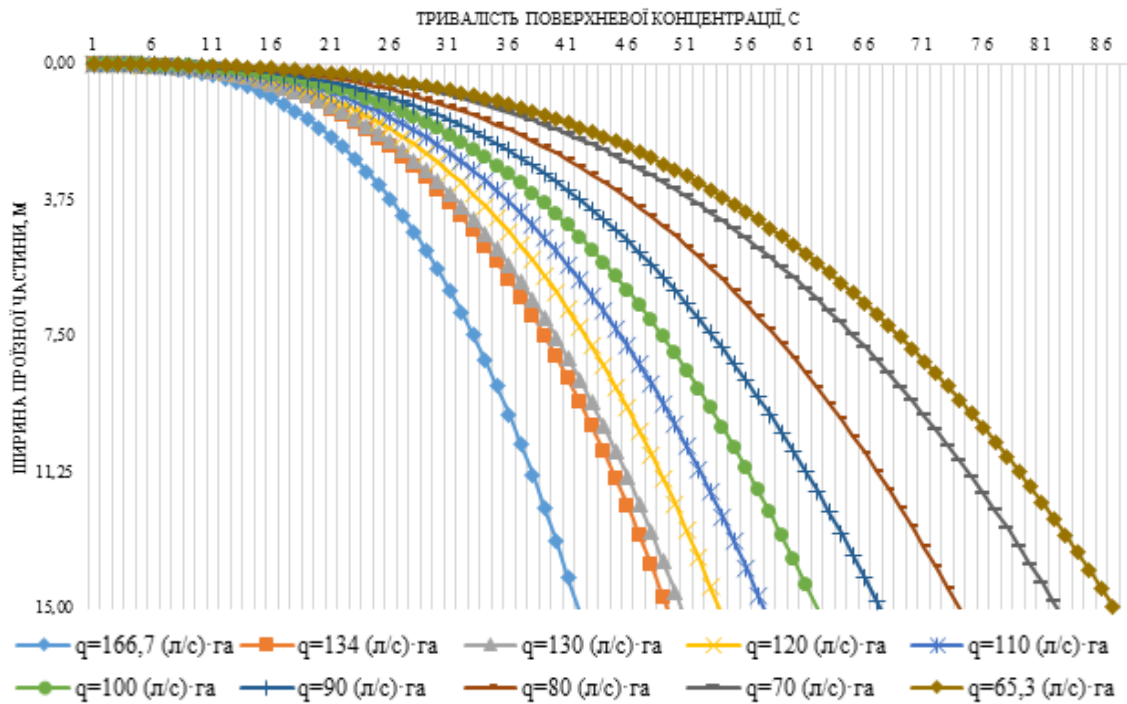


Рисунок 2 – Тривалість утворення поверхневого стоку при різній інтенсивності опадів

Наступним етапом в дисертаційній роботі було визначення розрахункових параметрів лінійного в плані водозбірного басейну.

В основу існуючого на теперішній час гідравлічного розрахунку покладено, що рух стоків прямопропорційно залежить від похилу. Фактично автори відомих методик розрахунку поверхневої концентрації використовують тільки поперечний похил і ця методика дає задовільні результати при відсутності поздовжнього похилу автомобільної дороги.

Запропоновано, для визначення розрахункового похилу та розрахункової ширини площі водозбірного басейну з автомобільної дороги, розглянути елементарну ділянку шириною – b , довжиною – L . Дану ділянку автомобільної дороги наведено в декартовій системі координат у вигляді елементарного прямокутника $ABCD$ (рис. 3).

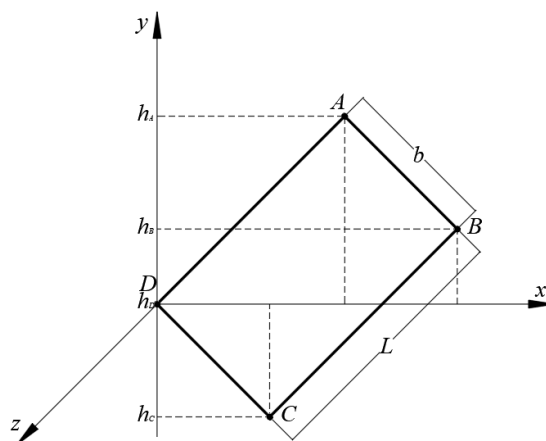


Рисунок 3 – Елементарна ділянка в декартовій системі координат

Рух стоків з площини AD відбувається у напрямку площини BC , але в залежності від поздовжнього похилу ділянки, величина добігання стоку від т. A буде змінюватись в діапазоні від т. B до т. C та окреслена прямокутним трикутником ABC .

Відстань від найвіддаленішої ділянки лінійного в плані водозбірного басейну до лінійного водозбірного лотка, із сталою шириною та сталим поперечним похилом, матиме залежність:

$$l = \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) \cdot b, \quad (26)$$

де b – ширина проїзної частини автомобільної дороги в одному напрямку, м;

$i_{\text{пов}}$ – поздовжній похил проїзної частини, ‰;

$i_{\text{поп}}$ – поперечний похил проїзної частини, ‰;

l – поздовжнє зміщення стоку, м.

Враховуючи (26) маємо два сектори визначення довжини добігання дощового стоку до водозбірного каналу (рис. 4).

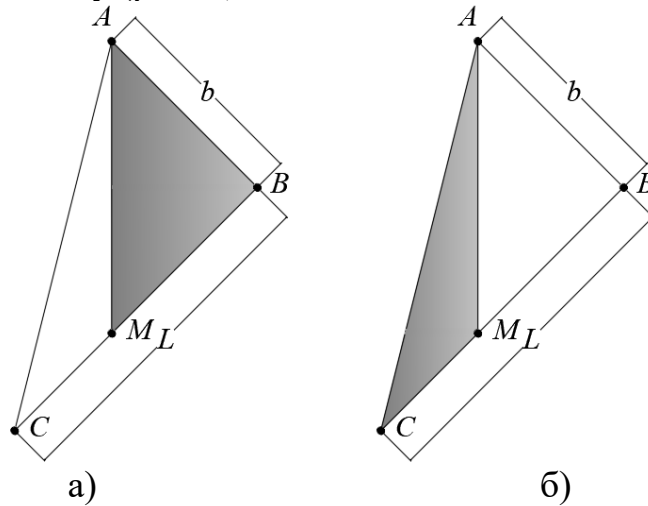


Рисунок 4 – Схеми до визначення розрахункового похилу

Сектор ABM буде розрахунковим при умові:

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) \leq 1, \quad (27)$$

а, BM змінюватиметься в діапазоні $0-b$. Сектор AMC відповідає умові:

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) > 1. \quad (28)$$

Розрахункова ширина водозбірного басейну з урахуванням поздовжнього та поперечного похилів водозбірної ділянки визначається за отриманою формулою:

$$B_{\text{роз}} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \cdot b \right)^2}, \quad (29)$$

де $B_{\text{роз}}$ – розрахункова ширина, відстань від найвіддаленішої точки водозбірної ділянки до водовідвідного лоткового каналу, м.

Визначення параметру «розрахункова ширина (29) для гідравлічного розрахунку систем поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах» запропоновано вперше .

Отримані аналітичні залежності для визначення тривалості формування поверхневого стоку і врахування реальної форми водозбірного басейну поверхневого стоку з проїзної частини дозволили удосконалити метод гідравлічного розрахунку проектування поверхневого водовідведення з автомобільних доріг.

Результати гідравлічних розрахунків впливають на проєктні рішення, щодо організації водовідведення. Найважливішими характеристиками водозбірної ділянки є розрахунковий похил та розрахункова ширина. Одним з недостатньо досліджених параметрів є розрахункова ширина водозбірного басейну. Даний параметр слід враховувати для лінійних у плані водозбірних басейнів.

У дисертаційній роботі розглянуто визначення розрахункової ширини водозбірного басейну, за шляхом врахування поздовжнього похилу водозбірної ділянки. Визначено, що розрахункову ширину слід визначати за формулою (29).

З метою підвищення пропускної здатності лотків, які працюють не повним перерізом, для відведення поверхневого стоку з проїзної частини доцільно підібрати їх раціональну форму. Автором дисертації запропоновано використовувати лоткові канали із V-подібною або еліпсоподібною формою, які покладені для проведення подальших досліджень.

Параметри каналу при максимальній пропускній здатності мають місце за умови, що вся нижня половина еліпса повністю заповнена водою, тобто, коли рівень заповнення каналу водою:

$$h = H, \quad (30)$$

де H – велика напіввісь еліпса, м;

h – наповнення водовідвідного лоткового каналу, м.

Для цього випадку довжину контуру L змочуваної частини каналу визначаємо виключно через параметри R та H за формулою:

$$L = 2 \cdot \frac{\pi HR + (H-R)^2}{H+R}, \quad (31)$$

де R – мала напіввісь еліпса, м;

L – довжина контуру змочуваної частини каналу, м.

Змочений периметр при частково заповненому каналі $h < H$:

$$S_h = HR \left\{ \arccos \left(1 - \frac{h}{H} \right) - \left(1 - \frac{h}{H} \right) \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{h}{H} \right)^2} \right\}, \quad (32)$$

де S – площа живого перерізу, м².

Значення кута від функції \arccos приймається в радіанах і змінюється від 0 до $\pi/2$. Визначення довжини контуру L_h змочуваної частини каналу, зводиться до складних еліптичних інтегралів. Тому запропонована апроксимуюча функція для визначення L_h з довірчою ймовірністю 3 % в межах зміни висоти заповнення каналу $h = H \dots 0,1 H$:

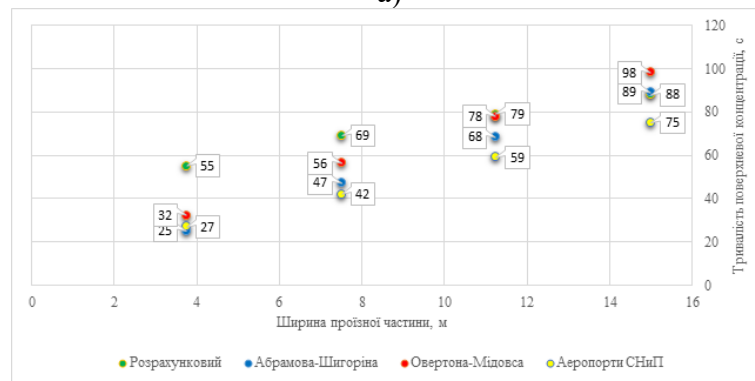
$$L_h = 2 \cdot \left\{ \frac{\pi HR + (H-R)^2}{H+R} - (H-h) \cdot \sqrt{1 + \frac{R}{H} \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2} \right\}. \quad (33)$$

Формули (32) та (33) описують основні показники для визначення пропускної здатності водовідвідних каналів, а саме змочений периметр та площу живого перерізу. Дані формули запропоновано вперше для розрахунку пропускної здатності водовідвідних каналів V-подібної форми, або еліпсоподібної.

У третьому розділі виконано експериментальні дослідження тривалості формування поверхневого стоку та пропускної здатності лоткових каналів, а також перевірка теоретичних положень. Автором дисертаційної роботи було прийнято назву досліджуваного методу визначення тривалості формування поверхневого стоку – «Розрахунковий». У розділі перевірено результати теоретичних досліджень двома шляхами: 1) порівняння їх з відомими емпіричними залежностями (рис. 5); 2) порівняння із результатами натурних досліджень на ділянці автомобільної дороги.



а)



б)

а – при $q_{20} = 166,7$ (л/с)·га (1 мм/хв)б – $q_{20} = 65,3$ (л/с)·гаРисунок 5 – Визначення t_{con} різними методами

Для визначення тривалості розрахункового дощу, при проектуванні поверхневого водовідведення та локальних очисних споруд слід враховувати тривалість поверхневої концентрації або тривалість формування поверхневого стоку. Для асфальтобетонних та цементобетонних покриттів визначальними є поздовжні й поперечні похили та геометричні параметри водозбірного басейну, які покладені в основу нашого розрахункового методу.

Як правило, на автомобільних дорогах загального користування використовуються системи водовідведення відкритого типу. Ці системи представлені

водовідвідними каналами, які приймають поверхневу воду безпосередньо із покриття автомобільних доріг та відводять у понижені місця або транспортують води до магістральних мереж, або до місць їх очищення.

У роботі виконано перевірку пропускної здатності систем поверхневого водовідведення в лабораторних умовах та шляхом виконання теоретичних розрахунків за трьома методами: метод № 1 (з застосуванням формул для визначення швидкісних та витратних характеристик); метод № 2 (з урахуванням формули Павловського, метод описаний в ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування); розрахунковий метод (розроблений автором).

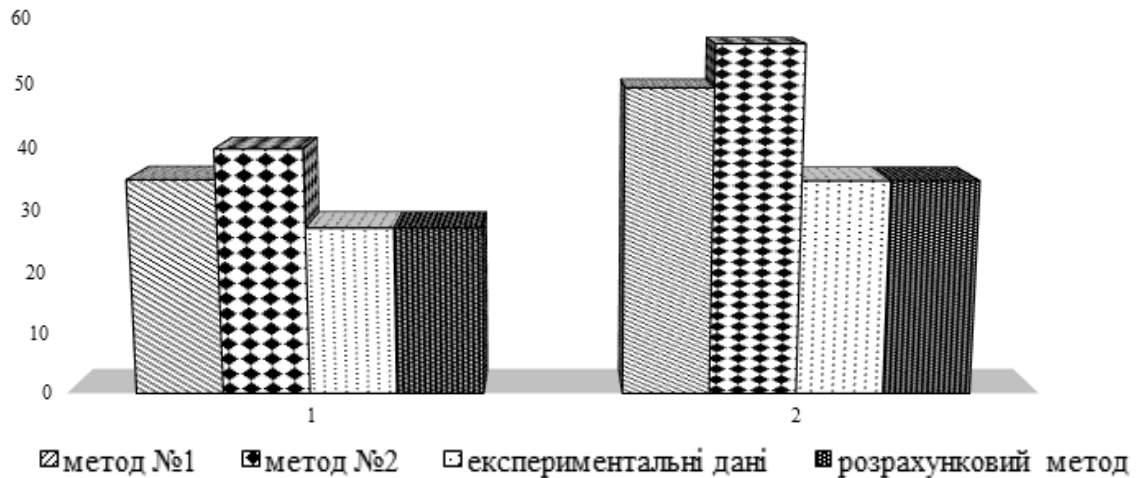
Метою проведення досліджень було встановлення дійсних параметрів пропускної здатності водовідвідних каналів при умові постійного надходження в канал стоку, який в свою чергу гальмує основний потік. Під час експериментів також встановлено ряд факторів, які не враховані в діючих методиках: традиційні гідравлічні розрахунки не враховують накопичувальний характер роботи водовідвідних каналів та не враховують вплив довжини лінії на загальний результат роботи в цілому, а не окремого одиничного елемента; гідравлічні розрахунки за методикою закритої каналізації не враховують імпульс стоку, який потрапляє в канал при опадах малої інтенсивності; гідравлічні розрахунки за методикою закритої каналізації показують результат в цілому, а не визначають наповнення будь-якої ділянки розрахункової лінії водовідвідних каналів; гальмування потоку рідини в стандартних методах розрахунку зумовлене тертям рідини та стінок водовідвідного елемента, однак не враховує фактор змочування, який зменшує даний опір; діючі методики не дозволяють визначити змінний характер швидкості в залежності від довжини лінії водовідвідних каналів. Результати експериментів і розрахунків наведені на рис. 6.

Для реалізації одного із завдань дослідження, для перевірки точності розробленого методу й отриманих за ним результатів, було проведено експериментальні дослідження в натурних умовах концентрації при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв на ділянках автомобільних доріг Р 69 км 19+000 та Р 02 км 19+500. Встановлено наступні результати (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати визначення тривалості поверхневої концентрації при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв

Відстань, м	Метод				Результати натурних досліджень
	Розрахунковий	Абрамова-Шигоріна	Овертона-Мідовса	СНиП 2.05.08-85 «Аеропорты»	
3,75	Час, с.				
	68	31	50	32	64
	Відхилення, %				
	6,25	51,56	21,88	50,00	-
7,50	Час, с.				
	86	58	87	56	84
	Відхилення, %				
	2,38	30,95	3,57	33,33	-

Проведено дослідження імовірності впливу розрахункових дощів на безпеку руху транспортних засобів. Наведено статистичний аналіз аномальних опадів за регіонами.



1 – при розрахунковому похилі водовідвідних каналів 0,5 %; 2 – при розрахунковому похилі водовідвідних каналів 1,0 %; метод № 1 – з використанням швидкісної та витратної характеристики елемента водовідведення; метод № 2 – з урахуванням формули Павловського при визначенні гідравлічного радіуса; експериментальні дані – результати отримані на стенді; розрахунковий метод – метод запропонований автором

Рисунок 6 – Порівняння результатів отриманих практично та теоретично різними способами

У четвертому розділі представлено рекомендації з комплексного підвищення точності гідравлічних розрахунків систем поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг та локальних очисних споруд дощового стоку.

Розроблено методики виконання гідравлічних розрахунків систем поверхневого водовідведення та локальних очисних споруд дощового стоку, які базуються на розробленому методі і враховують тривалість формування поверхневого стоку, розрахунковий похил та розрахункову ширину водозбірного басейну.

Наведено типові схеми для забезпечення гранично-допустимих концентрацій відведення стоку у водойми, для фільтрації в ґрунти та при влаштуванні випаровувальних басейнів. Розроблено та запропоновано класифікацію комплексу санітарно-технічних рішень залежно від імовірної величини впливу ділянки автомобільної дороги. Основні критерії вибору ділянок для влаштування санітарно-технічних заходів: наявність мостів; інтенсивність руху транспорту на ділянці дороги; стан покриття; проходження автомобільної дороги через населені пункти; наявність штучних споруд на ділянці автомобільної дороги: шляхопроводи, естакади, віадуки, тунелі; проходження ділянок через сільськогосподарські угіддя.

Дані критерії або їх сукупність зумовлюють вибір категорії санітарно-технічних рішень для мінімізації впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище (рис. 7).

Представлені рекомендації для вибору оптимальних рішень з влаштування водовідведення на автомобільних дорогах (табл. 2).

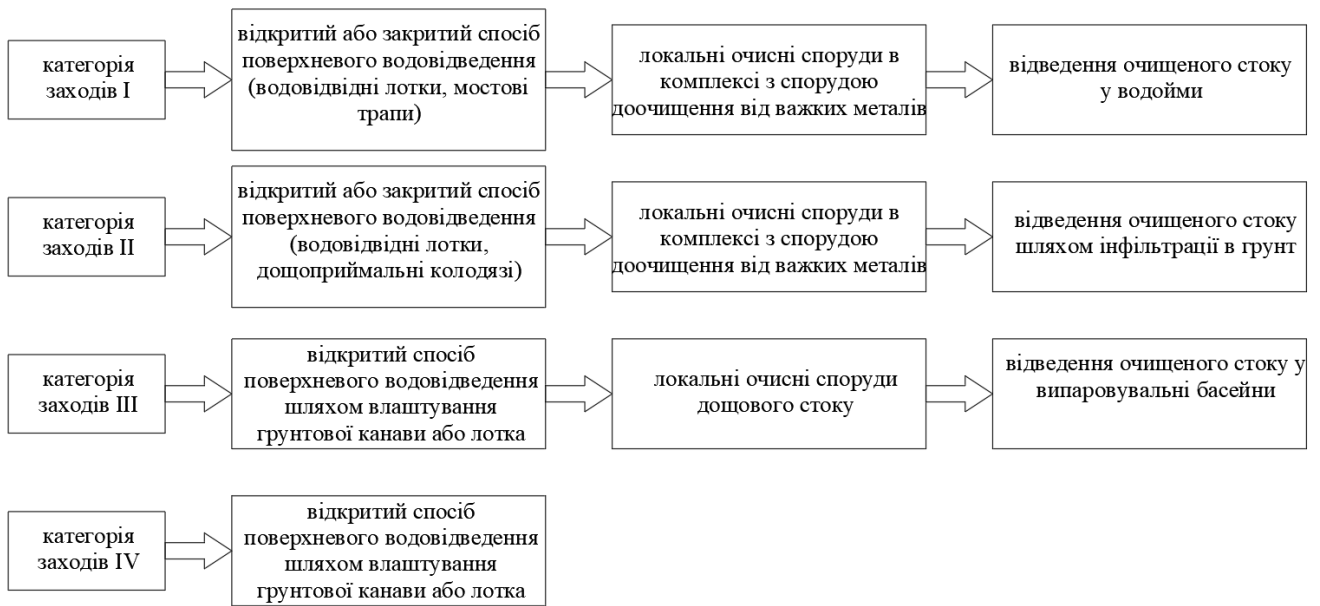


Рисунок 7 – Санітарно-технічні рішення

Таблиця 2 – Критерії вибору способу влаштування водовідведення на автомобільних дорогах

№	Категорія заходів	Ділянки	Основні рішення	Умови застосування
1	I	Мости, шляхопроводи, ділянки через населені пункти I категорія доріг	Водовідвідні лоткові канали, мостові трапи (відповідно до ДСТУ EN1433), дощоприймальні колодязі, мережі трубопроводів, локальні очисні споруди з сорбційним фільтром, відведення очищеного стоку у водойми, інфільтраційні системи, випаровувальні басейни	Для влаштування водовідвідних лотків поздовжній похил повинен знаходитись в межах 3-20 %. Інфільтрація в ґрунт можлива при відсутності високого рівня ґрунтових вод та високих фільтраційних характеристиках ґрунтів
2	II	Ділянки через населені пункти II категорія доріг	Водовідвідні лоткові канали (відповідно до ДСТУ EN1433), дощоприймальні колодязі, мережі трубопроводів, локальні очисні споруди з сорбційним фільтром, відведення очищеного стоку в інфільтраційні системи, випаровувальні басейни	Для влаштування водовідвідних лотків поздовжній похил повинен знаходитись в межах 3-20 %. Інфільтрація в ґрунт можлива при відсутності високого рівня ґрунтових вод та високих фільтраційних характеристиках ґрунтів
3	III	Ділянки через сільськогосподарські угіддя I, II категорії доріг	Поверхнєве водовідведення (відповідно до ДСТУ 9057), локальні очисні споруди, відведення очищеного стоку в інфільтраційні системи, випаровувальні басейни	Інфільтрація в ґрунт можлива при відсутності високого рівня ґрунтових вод та високих фільтраційних характеристиках ґрунтів
4	IV	Ліси, сільськогосподарські угіддя	Поверхнєве водовідведення (відповідно до ДСТУ 9057), відведення очищеного стоку в інфільтраційні системи, випаровувальні басейни	Інфільтрація в ґрунт можлива при відсутності високого рівня ґрунтових вод та високих фільтраційних характеристиках ґрунтів

Наведені типові схеми виконання водовідведення залежно від умов проектування траси автомобільної дороги. Розроблено методику розрахунку системи поверхневого водовідведення та очисних споруд для лінійних в плані водозбірних басейнів.

У додатках наведено довідки про впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи, статистичні дані гідрометеослужб, копії документів щодо типів пального, які дозволені на ринку України, список опублікованих праць.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішене актуальне науково-практичне завдання удосконалення методу проектування лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг. Цей метод дозволяє забезпечити ефективне відведення поверхневих вод з проїзної частини і, як наслідок, підвищити безпеку руху, а також мінімізувати вплив автомобільного транспорту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на навколишнє середовище

Виконані теоретичні дослідження та їх практична реалізація дозволяють зробити такі висновки:

1. Виконаний аналіз методів проектування та розрахунку поверхневого стоку з автомобільних доріг показав, що більшість із них орієнтовані на проектування каналізаційних мереж населених пунктів. Також в існуючих гідравлічних розрахунках поверхневого стоку з проїзної частини не враховані реальна форма водозбору та тривалість формування поверхневої концентрації стоку, що вносить значні погрішності в проектні рішення.

2. Удосконалено метод розрахунку лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг за рахунок обґрунтування аналітичних залежностей для визначення тривалості формування поверхневого стоку і врахування реальної форми водозбірних басейнів, для гідрологічних розрахунків. Запропоновано ефективну форму перерізу лотків (V-подібна або еліпсоподібна) та визначено її гідравлічні показники при частковому наповненні.

Що дозволяє підвищити точність розрахунків поверхневого стоку на 5-30 %. Запропоновано новий розрахунковий параметр – розрахункову ширину лінійних в плані водозбірних басейнів, яка враховує поздовжній похил дороги. За рахунок врахування даного параметру на автомобільних дорогах з поздовжніми похилами до 40 % підвищується точність розрахунків до 45 % на локальних ділянках.

3. Виконано теоретичні та експериментальні дослідження достовірності результатів гідравлічного розрахунку за розробленим методом.

Зокрема, встановлено, що відхилення, за різними методами і запропонованим методом від експериментально встановленої тривалості поверхневої концентрації при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв і при відстані добігання поверхневого стоку до лотка на ділянці дороги 3,75 м, становить: метод Абрамова-Шигоріна – 51,56 %, Овертона-Мідовса – 21,88 %, СНиП 2.05.08-85 «Аэропорты» – 50,0 %, запропонований (розрахунковий) – 6,25 %.

4. Розроблено інженерну методику гідравлічного розрахунку системи лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільної дороги, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийнятих проектних рішень за рахунок уточнення визначення величини поверхневого стоку та часу добігання до лоткових систем.

5. Запропоновано методику розрахунку очисних споруд дощових стоків. Розроблено типові рекомендації виконання поверхневого водовідведення залежно від умов проходження траси автомобільної дороги та типологію санітарно-технічних

рішень, що дало можливість обґрунтувати класифікацію ділянок автомобільних доріг для їх застосування.

6. Результати досліджень впроваджено при розробленні методики гідравлічного розрахунку системи лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільної дороги та санітарно-технічних рішень очистки дощових стоків для різних категорій автомобільних доріг. Також спільно з ТОВ «Міжнародний проектний інститут» та ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» було виконано проєктні рішення для влаштування лінійного поверхневого водовідведення при проєктуванні автомобільних доріг державного значення (шість об'єктів), зокрема: «Будівництво автомобільної дороги на ділянці від державного кордону з Угорщиною до автомобільної дороги М-24 Велика Добронь – Мукачеве – Берегове – КПП Лужанка», Закарпатська область».

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес, а саме в навчально-методичному комплексі дисципліни «Будівництво і експлуатація інженерних мереж» та в дипломному проєктуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертаційної роботи:

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

1. Havryshchuk V., Kaskiv V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. *Heliyon*. Vol. 6, ISSUE 12, E05687, December 01, 2020. (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687>

Статті у фахових виданнях:

2. Гаврищук В.В., Каськів В.І. Аналіз методів водовідведення з автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2018. Вип. 104. С. 94-100.

3. Солодкий С.Й., Каськів В.І., Гаврищук В.В. Поверхнева концентрація стоку та розрахунковий похил автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 46-53.

4. Гаврищук В.В., Каськів В.І. Обґрунтування доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 95-109. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.095>

5. Kaskiv V.I., Havryshchuk V.V. Linear surface drainage from road coverage, technical and economic indicators. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2020. Вип. 108. С. 39-45.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Гаврищук В.В., Каськів В.І. Аналіз досвіду водовідведення з автомобільних доріг. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та 6 співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2020. С. 141.

7. Гаврищук В.В. Визначення найдосконалішої форми гідравлічного перерізу водовідвідних каналів. *Goal and Role of World Science in Modernity VII Scientific and Practical Conference*, Helsinki. 2020. С. 141-145. URL: VII-Conference-09-10-Helsinki-Finland.pdf (isg-konf.com)

8. Гаврищук В.В. Недоліки гідравлічних розрахунків. Розрахунковий похил автомобільних доріг. *Modern Approaches to the Introduction of Science into Practice X Scientific and Practical Conference*. San Francisco, USA. 2020. С. 367-372. URL: X-Conference-30-31-San-Francisco-USA.pdf (isg-konf.com)

9. Гаврищук В.В., Каськів В.І. Комплексні санітарно-технічні заходи на автомобільних дорогах. *Perspective Directions for the Development of Science and Practice XX International Scientific and Practical Conference*. Athens, Greece. 2020. С. 152-157. URL: XX-Conference-08-09-Athens-Greece-book.pdf (isg-konf.com)

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Кравчук М.А., Гаврищук В.В., Кравчук О.А. *Методичні рекомендації до таблиць для гідравлічного розрахунку каналів для збору та відводу дощових вод фірми АСО*. Київ: КНУБА, 2020. 28 с.

11. Кравчук М.А., Гаврищук В.В., Кравчук О.А. *Таблиці для гідравлічного розрахунку каналів для збору та відводу дощових вод фірми АСО*. Київ: КНУБА, 2020. 152 с.

АНОТАЦІЯ

Гаврищук В.В. Удосконалення методу проєктування лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг. – 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, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуального питання щодо удосконалення методу проєктування поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг. Запропонована математична модель ґрунтується на застосуванні параметру змочення покриття та в'язких властивостей рідини. Підвищення ефективності проєктування поверхневого водовідведення здійснено шляхом обґрунтування аналітичних залежностей для визначення тривалості формування поверхневого стоку і врахування реальної форми водозбірних басейнів. Обґрунтовано новий розрахунковий параметр – розрахункову ширину лінійних в плані водозбірних басейнів, який враховує поздовжній похил дороги. Даний параметр дозволяє підвищити ефективність гідравлічних розрахунків до 45% на локальних ділянках.

Запропоновано ефективну форму перерізу лотків (V-подібна або еліпсоподібна) та визначено її гідравлічні показники при частковому наповненні.

Розроблено інженерну методику гідравлічного розрахунку системи лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільної дороги, що дозволяє

підвищити обґрунтованість прийнятих проектних рішень за рахунок уточнення визначення величини поверхневого стоку та часу добігання до лоткових систем. Запропоновано методику розрахунку локальних очисних споруд для лінійних у плані водозбірних басейнів. Розроблено типові рекомендації виконання поверхневого водовідведення в залежності від умов проходження траси автомобільної дороги та типологію санітарно-технічних рішень, що дало можливість обґрунтувати класифікацію ділянок автомобільних доріг для їх застосування.

Виконано оцінку та техніко-економічне обґрунтування доцільності влаштування типів поверхневого водовідведення в залежності від умов проходження траси автомобільної дороги.

Ключові слова: автомобільна дорога, водовідведення, водовідвідний канал, водозбірний басейн, опади, поверхневий стік, покриття, похил, проїзна частина, локальні очисні споруди.

АННОТАЦІЯ

Гавришук В.В. Усовершенствование метода проектирования линейного поверхностного водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. -На правах рукописи.

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

В диссертационной работе представлено новое решение актуального вопроса по совершенствованию метода проектирования поверхностного водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. Предложенная математическая модель, основывается на применении параметра смачивания покрытия и вязких свойств жидкости. Повышение эффективности проектирования поверхностного водоотвода осуществлено путем обоснования аналитических зависимостей для определения продолжительности формирования поверхностного стока и учета реальной формы водосборных бассейнов. Обоснован новый расчетный параметр - расчетная ширина линейных в плане водосборных бассейнов, учитывающая продольный уклон дороги. Данный параметр позволяет повысить эффективность гидравлических расчетов до 45% на локальных участках.

Предложена эффективная форма сечения лотков (V-образная или эллипсовидная) и определены ее гидравлические показатели при частичном наполнении.

Разработано инженерную методику гидравлического расчета системы линейного поверхностного водоотвода с покрытия автомобильной дороги, позволяет повысить обоснованность принимаемых проектных решений за счет уточнения определения величины поверхностного стока и времени добегания до лотковых систем. Предложена методика расчета локальных очистных сооружений для линейных в плане водосборных бассейнов. Разработаны типовые рекомендации выполнения поверхностного водоотвода в зависимости от условий прохождения трассы

автомобильной дороги и типологию санитарно-технических решений, что позволило обосновать классификацию участков автомобильных дорог для их применения.

Выполнена оценка и технико-экономическое обоснование целесообразности устройства типов поверхностного водоотвода в зависимости от условий прохождения трассы автомобильной дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, водоотведения, водоотводный канал, водосборный бассейн, осадки, поверхностный сток, покрытия, уклон, проезжая часть, локальные очистные сооружения.

ABSTRACT

Havryshchuk V.V. Improving method of the linear surface drainage designing from road coverage. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.11 «Highways and airfields». (192 - Construction and civil engineering). - National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation presents a new solution to the topical issue of improving the method of designing surface drainage from road coverage. The mathematical model offered and is based on application of the parameter of moistening of coverage and viscid properties of liquid. The increase of efficiency of the linear surface drainage designing performed by the ground of analytical dependences for determination of the duration forming superficial flow and taking into account of the real form catchment surface. It was substantiated a new calculation parameter - the design width of linear catchment surface, which takes into account the longitudinal slope of the road. This parameter allows to promote efficiency of hydraulic calculations to 45% on local areas.

Effective forms of tray cross-sections (V-shaped or elliptical) was proposed and her hydraulic parameters at partial filling was determined.

An engineering method of hydraulic calculation of the linear surface drainage system for road pavement was developed, which allows to increase the validity of design decisions by refining the determination of surface runoff and time of reaching the tray systems. The method for calculating local treatment facilities for linear catchment basins was proposed. The typical recommendations of implementation for surface drainage depending on the conditions of the highway route and the typology of sanitary solutions were developed, which made it possible to justify the classification of sections of roads for their use.

The assessment and feasibility study of the feasibility of the installation of types of surface drainage depending on the conditions of the highway route were performed.

Key words: highway, drainage, drainage canal, catchment basin, precipitation, surface runoff, pavement, slope, carriageway, local treatment facilities.