

УДК 625.731
UDC 625.731

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-137-146

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПАДІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ПОВЕРХНЕВОГО
ВОДОВІДВЕДЕННЯ Й ІНФІЛЬТРАЦІЇ ВОЛОГИ В ҐРУНТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

STUDY OF PRECIPITATION CHARACTERISTICS FOR CALCULATIONS OF
SURFACE WATER DRAINAGE AND MOISTURE INFILTRATION INTO THE SOIL OF ROAD
SUBGRADE



Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: petrovichvv60@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>



Касай Костянтин Іванович, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: Kasai2709@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-3292-3339>

Анотація. У статті досліджено вплив характеристик опадів на поверхневе водовідведення та інфільтрацію вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг.

Актуальність. З огляду на повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну, будівництво нових автомобільних доріг та реконструкція існуючих відкладені на другий план. Однак питання, пов'язані з дорожнім будівництвом, особливо ті, що потребують наукового обґрунтування, мають вирішуватися вже сьогодні. Надійність і довговічність дорожнього одягу значною мірою залежать від стану ґрунтової основи, що служить фундаментом для всієї конструкції. Аналіз великої кількості звітів щодо обстежень ділянок доріг з дефектами земляного полотна і дорожнього одягу свідчить про те, що основною причиною їх утворення є надмірне зволоження ґрунтів робочої зони, викликане недостатнім водовідведенням, дефектами в дорожньому одязі, незабезпеченою щільністю ґрунтів та використанням непридатних матеріалів.

Проблематика. Питання забезпечення водовідведення та водно-теплового режиму дорожніх конструкцій потребують детального вивчення. Вологість від атмосферних опадів має вирішальний вплив на деформації та руйнування дорожньої конструкції, тому врахування цього чинника є надзвичайно актуальним. Автори статті зазначають, що вивчення впливу атмосферних опадів на дорожню конструкцію та ґрунт земляного полотна вимагає подальшого наукового дослідження.

Мета. У статті розглянуто підходи до розрахунків поверхневого водовідведення та інфільтрації вологи в ґрунт, враховуючи інтенсивність опадів, яка є одним із ключових параметрів при проєктуванні дренажів, виборі ґрунту для насипу та інших елементів дорожньої конструкції. Запропоновано методи

удосконалення цих розрахунків, зокрема щодо врахування тривалості та інтенсивності опадів, що дозволяє підвищити економічну та технічну ефективність проєктних рішень.

Висновки. Проведено огляд наукових досліджень, присвячених класифікації та характеристикам опадів. На основі аналізу для подальших розрахунків і досліджень пропонується використовувати наступну середню інтенсивність опадів: для всієї території країни (окрім гірських районів) – 1,26 мм/хв; для Криму – 1,50 мм/хв; для Карпат – 1,78 мм/хв.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість, ґрунт, дощ, земляне полотно, інфільтрація, опади.

Вступ. Із повномасштабним вторгненням російської федерації на територію України, амбітні плани щодо розширення мережі автомобільних доріг, їх нове будівництво і реконструкцію існуючих, відійшли на другий план. Першочергове фінансування потрібно для оборонних цілей і відбудови. Проте, питання, пов'язані із дорожнім будівництвом, які потрібно буде вирішувати в майбутньому, потребують вирішення сьогодні. Надійність і довговічність автомобільної дороги як інженерної споруди залежить від багатьох чинників. І як у всіх споруд в неї можна умовно виділити фундамент (ґрунтова основа для земляного полотна, земляне полотно для дорожнього одягу тощо) і основну конструкцію. Звичайно, за надійної роботи фундаменту ми отримаємо надійну роботу всієї споруди.

Постановка проблеми. Виконаний аналіз великої кількості звітів із обстежень ділянок автомобільних доріг загального користування із дефектами земляного полотна і дорожнього одягу свідчить про декілька причин їх утворення:

1) Надмірне зволоження ґрунтів робочої зони. Основні причини: незабезпечене водовідведення; дефекти в дорожньому одязі; незабезпечена щільність ґрунтів; використання непридатних ґрунтів для спорудження насипу тощо.

2) Технологічні причини пов'язані із недотриманням режимів ущільнення або вимог до якості дорожньо-будівельних матеріалів.

3) Деформації самого земляного полотна, зокрема укосів насипів, у вигляді розмивів, зсувів, руйнування. Основні причини: недостатнє укріплення укосів або дефекти в укріпленні; перезволоження ґрунту як наслідок порушення нормальної роботи водовідвідних споруд або перезволоження ґрунтів значними атмосферними опадами або талими водами; недостатня щільність ґрунту насипу, особливо у приукісній частині насипу; використання непридатних ґрунтів для спорудження насипу тощо.

Деякі причини деформацій дорожньої конструкції пов'язані із культурою виконання робіт, дотриманням технологічних регламентів, технологічних карт і вимог будівельних норм, нормативних документів та іншої технічної документації. Проте, є причини, які пов'язані із незабезпеченим належним чином водовідведенням і водо-тепловим режимом дорожньої конструкції або особливостями його протікання, які потребують наукового обґрунтування і вивчення. Хоча багато питань уже вирішено, лишається низка задач, які потребують уточнень, доповнень, більш глибоких наукових розробок. І якщо розглянути вищенаведені причини деформацій і руйнувань, то у більшості випадків присутня волога від атмосферних опадів, а в деяких випадках її вплив може бути вирішальним. Тому, на думку авторів, врахуванню впливу атмосферних опадів на дорожню конструкцію в цілому і на робочу зону зокрема, є актуальною задачею.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питанням врахування вологи від опадів, поверхневих вод, при проєктуванні і будівництві елементів автомобільної дороги, відведення вологи опадів від дорожньої конструкції, у різні часи займались як відчिनняні, так і зарубіжні учені М. Іванов, О. Біруля, М. Пузаков, В. Сіденко, О. Тулаєв, І. Золотарь, М. Корсунський, В. Казарновський, Я. Калужський, М. Гольдштейн, В. Заворицький, В. Рувинський, Н. Cedergren, А. Dawson, W. James, R. Horton [1-9]. Причому ці питання, то викликали науковий інтерес, то, дивлячись на публікації, на певний період відкладались. Потужна школа науковців із питання дослідження водно-теплого резину земляного полотна автомобільних доріг була сформована в Україні у 60-70 роки минулого століття під керівництвом професора В. Сіденка [1-3].

Питанням, зокрема інфільтрації вологи в дорожню конструкцію, приділяли увагу як науковці колишнього радянського союзу [1-6], так і незалежної України [10-16].

Виклад основного матеріалу. Вважаємо, що при проектуванні систем дренажів, дренавальних шарів дорожнього одягу, вибору виду ґрунту насипу чи робочої зони земляного полотна одним із питань, яке впливає на кінцеві розрахунки і можливо удосконалити, є питання інфільтрації вологи від опадів і зокрема, розрахункової інтенсивності дощу.

Ця характеристика не стала за тривалістю, протягом години, сезону і року. Проте вона є однією із основних при визначенні інфільтрації вологи в ґрунт, дренаж чи дорожню конструкцію.

Тому, чим з більшою точністю і ймовірністю це величина буде визначна, тим економічно і технічно вигідні будуть прийняті проектні рішення.

Ця характеристика залежить від великої кількості чинників і під час розрахунків за різними формулами має великі розбіжності. Причому, у багатьох авторів є величини, які встановлюють експериментальним шляхом за допомогою рідкісних спеціальних приладів.

Причому, як раніше, так і на теперішній час є різні думки науковців щодо віднесення дощів до зливових чи облогових. Ще у середині минулого століття Е. Берг запропонував свою шкалу поділу опадів (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація злив за Е. Бергом

Table 1 – Classification of rainstorms by E. Berg

Час, хв	5	10	15	20	50	60	120	240
S , мм	2,50	3,80	5,00	6,00	11,00	12,00	18,00	27,00
$i_{ср}$, мм/хв	0,50	0,38	0,33	0,30	0,22	0,20	0,15	0,11

Чуть пізніше до зливових запропонували відносити опади інтенсивність яких $i > 1$ мм/хв О. Городецький, І. Гуральник і В. Ларін [17], а О. Зверев [18] і В. Большаков та О. Курганович [19] вважали, цю інтенсивність зливових овидів від 0,3 мм/хв і більше. С. Хромов [20] запропонував наступний розподіл опадів за їх інтенсивністю: 0,25 мм/год (0,004 мм/хв) – облогові, 100 мм/год (1,67 мм/хв) – злизові. У [21] до облогових відносять дощі з $i \leq 2$ мм/год (0,033 мм/хв), а до зливових – 2–10 мм/год (0,033–0,167 мм/хв). І. Вороб'єв [22] зливовими вважав опади з $i > 3$ мм/год (0,05 м/хв).

Ж. Алібегова у [23] пропонує поділяти опади на облогові та злизові, користуючись такими критеріями: якщо інтенсивність – $i_{max} \geq 0,2$ мм/хв, а сума опадів $\geq 1,5$ мм, тоді опади відносять до зливових, коли ж відповідні величини менші вказаних значень, опади слід вважати облоговими. Ю. Седунов із співавторами у [24] пропонує класифікацію рідких опадів за інтенсивністю i і тривалістю t (табл. 2).

Таблиця 2 – Класифікація опадів

Table 2 – Classification of rainfall

Тип опадів	i , мм/хв	Умови
Морось	$< 0,01$	
Облогові – // –	0,01 – 0,02 0,03 – 0,05	у районах надлишкового і достатнього зволоження $t_i > 0,1 t$
Злизові – // –	0,03 – 0,05 $> 0,05$	$t_i < 0,1 t$

Примітка. t_i – тривалість дощу із заданою інтенсивністю i .

Якщо взяти технічні і нормативні документи, то, наприклад, у [25] до зливових опадів віднесено дощі з інтенсивністю (5 % забезпеченістю і для літнього періоду) від 0,118 мм/хв до 0,432 мм/хв. У [26] не наведено інтенсивностей дощу, тільки сума опадів. Ця сума опадів корелює із, наприклад, для Київської області з даними Українського гідрометеорологічного інституту за період спостереження 1991–1921 роки, місяць липень – згідно з [26] кількість опадів 77 мм, за даними УкрГМІ – 73 мм, середня кількість опадів за рік згідно з [26] 642 мм, за даними УкрГМІ – 587 мм.

Як бачимо багато авторів не мають спільної думки із піднятого питання, це відмічали раніше, зокрема [11] і сьогодні [27]. Інтенсивність опадів враховують при розрахунку зливових стоків, відведення води із дорожньої конструкції, розрахунків дренажів, правда, як правило, оперують середньомісячною інтенсивністю або кількістю опадів. І прийняття найбільш достовірних вихідних даних дозволить проєктувати, наприклад, споруди поверхневого водовідведення, дренажів мілкового закладання тощо без їхнього затоплення і розмиву під час експлуатації.

Розглянемо теорію стоку із схилів, яку використано і для потреб розрахунку поверхневого водовідведення з автомобільних доріг [28-35].

У загальному вигляді витрату дощового стоку можна записати як:

$$Q_{max} = 16,7 \cdot i_{год} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \phi, \quad (1)$$

де Q_{max} – максимальне значення витрати стоку дощових вод, м³/с;

$i_{год}$ – інтенсивність опадів, мм/хв, годинної тривалості визначають з розрахунковою імовірністю перевищення 0,1; 0,3; 1; 2; 3; 4; 5; 10 років відповідно з кліматичним районуванням;

K_t – коефіцієнт стоку;

F – площа водозбірного басейну, км²;

α – коефіцієнт втрат потоку, визначають залежно від типу ґрунту та площі водозбірного басейну;

ϕ – коефіцієнт редукції стоку, враховує нерівномірність випадання опадів на поверхню водозбірного басейну.

У [28, 30-32] $i_{год}$ – інтенсивність опадів, мм/хв у [29] розрахункова інтенсивність водовіддачі, яку розраховують через інтенсивність опадів і має також розмірність мм/хв.

Якщо, для прикладу, взяти одну і ту ж саму ділянку проїзної частини автомобільної дороги, то величина Q_{max} буде залежати тільки від інтенсивності опадів, яку приймають до розрахунку. У результаті для короткотривалої зливи (візьмемо для прикладу за основу дані табл. 1) тривалістю 10 хв за інтенсивності 0,38 мм/хв випало 3,8 мм опадів, $Q_{max} = 0,63$ м³/с; а за інтенсивності 0,11 мм/хв і тривалості 240 хв – $Q_{max} = 0,18$ м³/с, це при тому, що кількість опадів у другому випадку маже у 7 разів більша. Звичайно це спрощений підхід у [29] $i_{год}$ залежить від району і є постійною величиною (Україна поділена на 3 райони, які у свою чергу поділені на 4 і 2 підрайони), у [28, 31] встановлено 4 райони у [32] – 3 і залежність від відсотку перевищення, і цей підхід правомірний під час розрахунків також і водовідвідних, і дренажних конструкцій, проте при розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна, вважаємо, потрібно враховувати і величину, і тривалість опадів.

Якщо ж інтенсивність перевести в кг на м², то отримаємо: за інтенсивності 0,38 мм/хв і тривалості опадів 10 хв чи інтенсивності за об'ємом $6,33 \cdot 10^{-3}$ л/с на м² випало вологи 3,8 кг/м², а за інтенсивності 0,11 мм/хв і тривалості – 240 хв (за об'ємом – $1,83 \cdot 10^{-3}$ л/с на м²) – 27 кг/м².

У технічних документах у дорожній галузі [36-38] використовують середню інтенсивність дощу за показниками середньомісячної кількості опадів і їхньої тривалості або інтенсивність дощу, або максимальну кількість опадів за годину, що також, на нашу думку, не завжди відтворює реальний вплив опадів.

Інший підхід використано у роботах [6, 16, 39] де пропонується уніфікована залежність для визначення припливу води в ґрунт (в м³ на 1 м² поверхні) при зволоженні атмосферними опадами, що випадають на проїзну частину ($q_{атм}$ пр ч):

$$q_{\text{атм пр ч}} = 10^{-3} \alpha \omega H_{\text{пог пр ч}}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт, що враховує додатковий приплив води, що надходить у ґрунт до та після розрахункового місяця, $\alpha = 1,3$;

ω – площа, м²;

$H_{\text{пог пр ч}}$ – кількість води, яка поглинається протягом місяця розрахункового року в ґрунт земляного полотна під проїзною частиною, мм.

Але і (2), під час розрахунку кількості води, яка поглинається протягом місяця, використовують середню інтенсивність дощу.

У [11] запропоновано використовувати приведену інтенсивність дощу, для дощів різної тривалості. Ці формули працюють для всіх дощів, окрім окремих аномальних (з великою кількістю випавших опадів) тривалих злив.

Як показують дослідження М. Коновалова, Є. Попова і С. Коль [60], які проаналізовані у [11], інтенсивність інфільтрації в ґрунт (сухий і вологий) зменшується більше ніж на половину при тривалості дощу 30 хв і стабілізується при тривалості дощу 50 хв і більше.

У загальному ж, процес інфільтрації при постійній інтенсивності дощу має три характерні фази:

- повного поглинання опадів;
- пониження інтенсивності інфільтрації;
- приблизно стала інтенсивність інфільтрації.

Та за глибиною можна виділити п'ять характерних зон згідно з Я. Бер:

- зона насичення;
- перехідна зона;
- зона передачі вологи;
- зона зволоження;
- фронт зволоження.

Згідно із висновками отриманими А. Лебедевим у праці "Оцінка ймовірнісних характеристик опадів на території Західної Європи" [40] де було проаналізовано дані про опади у Західній Європі за 30, 80, 100 літні періоди, встановлено, що для кліматичних цілей можна використовувати 30-річні спостереження для розрахунку ймовірнісних характеристик. Істотне подовження ряду не вносить помітних змін та уточнень у характеристики опадів різної забезпеченості. Тобто в Україні, за часів незалежності, уже накопичені репрезентативні дані щодо характеристик опадів.

У [27] проведено оцінювання ймовірності настання величин інтенсивності опадів при різних рівнях забезпеченості. Результати показали, що при випаданні небезпечних та дуже сильних опадів 100 % забезпеченість матимуть інтенсивності в інтервалі $< 0,1$ мм/хв, опади інтенсивністю 0,1 мм/хв мають забезпеченість 55 %, далі зі збільшенням інтенсивності забезпеченість різко падає. Так, інтенсивність 0,3 мм/хв має забезпеченість 30 %, 0,5 мм/хв – близько 20 %, 1,0 мм/хв – 5 % випадків.

Також у [27] встановлено, що часовий розподіл значень інтенсивності опадів у теплий період, зокрема небезпечних опадів та дуже сильних, має хвильову структуру, що є підтвердженням теоретичних висновків про особливості процесів хмаро- та опадоутворення. Виділяють зливові опади, для яких середні максимальні інтенсивності становлять 1,22–1,39 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 11,2 хв до 32,6 хв, облогові – із середньою максимальною інтенсивністю 0,11 мм/хв, тривалість хвиль підсилення – 20,8 хв; облогові зі зливовими включеннями, коли середні максимальні інтенсивності змінюються від 0,49 мм/хв до 0,69 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 21,1 хв до 40,8 хв. Основна маса води, що формує поверхневий стік утворюється переважно під час хвиль підсилення інтенсивності опадів, за цей час може утворитися від 60 % до 90 % поверхневого стоку.

Виконаний у цій роботі аналіз динаміки значень інтенсивності опадів для періоду 2005-2017 рр., та порівняний із даними отриманими в науковому експерименті 1969 року, показав, що величини

максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди спостережень співпадають.

Для розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг, вважаємо не має сенсу приймати щоденні дані, отримані за показаннями півніографів чи опадомір або їхні середньомісячні величини, або градувати їх залежно від регіону, як наведено в довідниках чи методичних рекомендаціях, оскільки це потребує достатньо великої кількості вихідних даних, які є ймовірнісними величинами і чим більша їхня кількість, тим важче отримати результат із заданою достовірністю. Вважаємо, що достатньо визначити найбільш критичні максимальні інтенсивності дощу для облогових, зливових чи змішаних дощів, для різних видів ґрунту, їхнього гранулометричного складу і початкової вологості ґрунту (ці величини також не стабільні, але більшість їхні характеристик з достатньою точністю уже відомі). У подальшому, для цих умов, отримати залежності зміни фізико-механічних характеристик ґрунту і розробити заходи із їхнього покращення чи недопущення перезволоження. Таким чином, отримана дорожня конструкція, за досягнення критичних інтенсивностей опадів під час експлуатації буде працювати із запасом, при досягненні або коротко строковому перевищенні, буде забезпечена розрахункова міцність конструкції. Звичайно, заходи із забезпечення міцності дорожньої конструкції можуть призвести до її незначного удорожчання на етапі будівництва, проте вони запобігають можливим деформаціям і аварійними ситуаціям, які можуть виникнути в подальшому, як наслідок використання вихідних даних опадів із меншими характеристиками.

Ураховуючи велике напруження науковців минулого, де до зливових відносять опади від 0,033 мм/хв і більше та ураховуючи, статистичні розрахунки авторів і, зокрема, результати [27], для подальших розрахунків і досліджень пропонується використовувати дані [32], для всієї території України (окрім гірських районів) – 1,26 мм/хв; для Криму – 1,50 мм/хв; для Карпат – 1,78 мм/хв.

Висновки. Аналізуючи питання інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг, можна зробити висновок, що вплив атмосферних опадів є одним із ключових чинників, який впливає на надійність і довговічність дорожньої конструкції. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень і практичних напрацювань у цій галузі, залишаються аспекти, які потребують додаткового вивчення та уточнення.

По-перше, слід звернути увагу на розрахункову інтенсивність дощу, яка є важливою характеристикою під час проектування систем поверхневого водовідведення та дренажів. Відсутність єдиного підходу до класифікації опадів та розбіжності в методах розрахунку інтенсивності опадів у різних авторів створюють труднощі під час визначення оптимальних параметрів дренажних систем і водовідведення.

По-друге, урахування тривалості та інтенсивності опадів під час розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт є критично важливим для забезпечення надійної роботи дорожньої конструкції.

По-третє, необхідно удосконалити існуючі методики розрахунку інфільтрації вологи опадів, що дозволить проектувати більш ефективні й надійні конструкції, здатні витримувати вплив як короткотривалих зливових дощів, так і тривалих опадів середньої інтенсивності.

Перелік посилань

1. Сіденко В.М. Розрахунок і регулювання водно-теплового режиму дорожніх одягів і земляного полотна. Автотрансїздат, 1962. 116 с. [р.м.].
2. Пузаков М.А., Золотарь І.А., Сіденко В.М., Тулаєв А.Я. Водно-тепловий режим земляного полотна і дорожніх одягів. Транспорт, 1971. 414 с. [р.м.].
3. Сіденко В.М. Автомобільні дороги. Удосконалення методів проектування і будівництва. Будівельник, 1973. 279 с. [р.м.].
4. Заворицький В.Й. Збезпечення експлуатаційної надійності високих насипів автомобільних доріг : дис... д-ра техн. наук : 05.23.14. К., 1986. 482 с. [р.м.].
6. Рувинський В.І. Оптимальні конструкції земляного полотна на основі регулювання водно-теплового режиму. Транспорт, 1982. 166 с. [р.м.].

7. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193 p.
8. Седергрєн Г.Р. Дренаж дорожніх одягів та аеродромних покриттів : пер. з англ. : Транспорт, 1981. 280 с. [р.м.].
9. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Centre University of Nottingham. UK. 2009. 438 p.
10. Савенко В.Я., Каськів В.І. Вплив опадів на розподіл вологості ґрунтів верхньої частини земляного полотна. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1997. Вип. 54. С.6-11.
11. Каськів В.І. Удосконалення показників робочої зони високих насипів з врахуванням інфільтрації атмосферних опадів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 1998. 286 с.
12. Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьожка В.В. Індивідуальний підхід при проектуванні дренажів мілкового залягання з урахуванням кліматичних особливостей регіону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2011. Вип. 80. С. 3-15.
13. Стьожка В.В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладення : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 2015. 219 с.
14. Бубела А.В. Дослідження закономірностей зволоження дорожньої конструкції та методи його регулювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 105. С. 44-48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf
15. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No 7 (106). P. 62-75.
(Scopus) URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421>
16. Бубела А.В. Методологія проектування поперечних дренажів мілкового закладення з оцінкою якісного стану автомобільної дороги: дис... д-ра. техн. наук : 05.22.11. К., 2021. 427 с.
17. Городецький О.А., Гуральник І.І., Ларін В.В. Метеорологія, методи і технічні засоби спостереження. Гідрометеоіздат, 1984. 336 с. [р.м.].
18. Зверев О.С. Синоптична метеорологія. Гідрометеоіздат, 1977. 712 с. [р.м.]
19. Большаков В.А., Курганович А.А. Гідрологічні і гідравлічні розрахунки малих дорожніх споруд. Вища школа, 1983. 280 с. [р.м.].
20. Хромов С.П. Метеорологія і кліматологія. Гідрометеоіздат, 1983. 456 с. [р.м.].
21. Лебедев А.П. Врахування особливостей формування максимальних зливових паводків на малих водозборах БССР при призначенні отворів дорожніх водовідвідних споруд. *Автомобільний транспорт і дороги*. 1981. Вип. 8. С. 112-116. [р.м.].
22. Вороб'єв В.І. Синоптична метеорологія. Гідрометеоіздат, 1991. 616 с. [р.м.].
23. Алібегова Ж.Д. Просторово-часова структура полів рідких опадів. Гідрометеоіздат, 1985. 228 с. [р.м.].
24. Атмосфера. Довідник / під ред. Ю.С. Седунова. Гідрометеоіздат, 1991. 510 с. [р.м.].
25. Довідник № 4. Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві. 2018. 98 с.
26. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
27. Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М. Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4 (55). С. 95-111.
28. Перевозников Б.Ф. Розрахунки максимального стоку під час проектування дорожніх споруд. Транспорт, 1975. 304 с. [р.м.].
29. ВСН 63-76 Інструкція з розрахунку зливого стоку води з малих басейнів. 1976. 101 с. [р.м.].
30. Большаков В.А., Курганович А.А. Гідрологічні і гідравлічні розрахунки малих дорожніх споруд. Вища школа, 1983. 280 с. [р.м.].
31. Константинов Н.М., Чистяков І.В. Розрахунок системи дорожнього водовідводу. 2011. 40 с. [р.м.].

32. Посібник до ДСТУ 9057:2020 настанова з проєктування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування. К., 2020. 121 с.
33. Каськів В. І., Гавришук В.В. Обґрунтування доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 95–109.
34. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. *Heliyon*. Volume 6, ISSUE 12, E05687, December 01, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687>
35. Солодкий С.Й., Каськів В.І., Гавришук В.В. Поверхнева концентрація стоку та розрахунковий похил автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 46-53.
36. МР В 2.3-02070915-849:2014 Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг. 2014. 61 с.
37. М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи. 2011. 26 с.
38. МР В.2.3-37641918-933:2023 Методичні рекомендації з проєктування дорожніх конструкцій з поперечними трубчастими дренажами мілкого закладання на основі дослідження напружено-деформованого стану. 2023. 31 с.
39. Посібник з проєктування методів регулювання водно-теплового режиму верхньої частини земляного полотна (до СНиП 2.05.02-85). 1989. 97 с. [р.м.].
40. Лебедев А.Н. Оцінка імовірнісних характеристик опадів на території Західної Європи. Труды головної геофізичної обсерваторії ім. О. І. Воєйкова. 1977. Вип. 390. С. 115-125 [р.м.].

STUDY OF PRECIPITATION CHARACTERISTICS FOR CALCULATIONS OF SURFACE WATER DRAINAGE AND MOISTURE INFILTRATION INTO THE SOIL OF ROAD SUBGRADE

Volodymyr Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Kostiantyn Kasai, National Transport University, postgraduate student, e-mail: Kasai2709@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3292-3339>

Abstract. The article examines the impact of precipitation characteristics on surface drainage and moisture infiltration into the soil of road embankments. Relevance. In light of the full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine, the construction of new roads and the reconstruction of existing ones have been relegated to the background. However, issues related to road construction, especially those requiring scientific justification, must be addressed today. The reliability and durability of pavement significantly depend on the condition of the soil foundation, which serves as the basis for the entire structure. Analysis of numerous reports on road sections with defects in the embankment and pavement indicates that the primary cause of these defects is the excessive moisture in the working area soil, caused by inadequate drainage, defects in the pavement, insufficient soil compaction, and the use of unsuitable materials.

Problem Statement. The issues of ensuring proper drainage and the water-thermal regime of road structures require detailed study. Moisture from atmospheric precipitation has a decisive impact on the deformation and destruction of road structures, making consideration of this factor extremely relevant. The authors of the article note that the study of the impact of atmospheric precipitation on road structures and the soil of road embankments requires further scientific research.

Objective. The article considers approaches to calculating surface drainage and moisture infiltration into the soil, taking into account precipitation intensity, which is one of the key parameters in the design of drainage systems, selection of embankment soil, and other elements of road structures. Methods for improving

these calculations are proposed, particularly regarding the consideration of the duration and intensity of precipitation, which allows for enhancing the economic and technical efficiency of design solutions.

Conclusions. A review of scientific research on the classification and characteristics of precipitation was conducted. Based on the analysis, the following average precipitation intensities are recommended for further calculations and research: for the entire territory of the country (excluding mountainous regions) – 1.26 mm/min; for Crimea – 1.50 mm/min; for the Carpathians – 1.78 mm/min.

Keywords: highway, moisture, soil, rain, embankment, infiltration, precipitation.

References

1. Sidenko V.M. Calculation and regulation of the water-thermal regime of road pavements and subgrade. Avtotransizdat, 1962. 116 p. [in Russian].
2. Puzakov M.A., Zolotar I.A., Sidenko V.M., Tulayev A.Y. Water-heat regime of subgrade and road pavement. Transport, 1971. 414 p. [in Russian].
3. Sidenko V.M. Automobile roads. Improvement of design and construction methods. Builder, 1973. 279 p. [in Russian].
4. Zavorytskyi V.Y. Ensuring the operational reliability of high embankments of highways: Doctor of Technical Sciences: 05.23.14. K., 1986. 482 p. [in Russian].
6. Optimal designs of subgrade on the basis of regulation of water-heat regime. Transport, 1982. 166 p. [in Russian].
7. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193 p.
8. Södergren G.R. Drainage of road pavements and airfield pavements: trans. from English: Transport, 1981. 280 p. [in Russian].
9. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Center University of Nottingham. UK. 2009. 438 p.
10. Savenko V.Y., Kaskiv V.I. Influence of precipitation on the distribution of soil moisture in the upper part of the subgrade. Automobile roads and road construction. 1997. Issue 54. P. 6-11. [in Ukrainian].
11. Kaskiv V.I. Improvement of indicators of the working zone of high embankments taking into account the infiltration of atmospheric precipitation: Candidate of Technical Sciences: 05.22.11. K., 1998. 286 p. [in Ukrainian].
12. Savenko V.Y., Slavinska O.S., Stezhka V.V. Individual approach to the design of shallow drainage taking into account the climatic features of the region. Automobile roads and road construction. 2011. Issue 80. P. 3-15. [in Ukrainian].
13. Stiezhka V.V. Improvement of the method of calculation of shallow drainage systems: Candidate of Technical Sciences: 05.22.11. K., 2015. 219 p. [in Ukrainian].
14. Bubela A.V. Study of the regularities of road structure moistening and methods of its regulation. Automobile roads and road construction. 2019. Issue 105. P. 44-48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf. [in Ukrainian].
15. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4, No. 7 (106). P. 62-75.
(Scopus) URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421>
16. Bubela A.V. Methodology for the design of shallow transverse drains with an assessment of the quality state of the road: PhD thesis: 05.22.11. K., 2021. 427 p. [in Ukrainian].
17. Gorodetskyi O.A., Guralnyk I.I., Larin V.V. Meteorology, methods and technical means of observation. Hydrometeorological Publishing House, 1984. 336 p. [in Russian].
18. Zverev O.S. Synoptic meteorology. Hydrometeorological Publishing House, 1977. 712 p. [in Russian].
19. Bolshakov V.A., Kurganovich A.A. Hydrological and hydraulic calculations of small road structures. Vysshaya shkola, 1983. 280 p. [in Russian].

20. Khromov S.P. Meteorology and climatology. Hydrometeorological Publishing House, 1983.456 p. [in Russian].
21. Lebedev A.P. Consideration of the peculiarities of the formation of maximum storm floods in small catchments of the BSSR when assigning openings of road drainage structures. Automobile transport and roads. 1981. Issue 8. P. 112-116. [in Russian].
22. Vorobiev V.I. Synoptic meteorology. Hydrometeorological Publishing House, 1991. 616 p. [in Russian].
23. Alibegova Zh.D. Spatial and temporal structure of liquid precipitation fields. Hydrometeorological Publishing House, 1985. 228 p. [in Russian].
24. Atmosphere. Handbook / edited by Y.S. Sedunov. Hydrometeorological Publishing House, 1991. 510 p. [in Russian].
25. Handbook No. 4. Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for regulation of water-heat regime in road construction. 2018. 98 p. [in Ukrainian].
26. DSTU-N B V.1.1-27: 2010 Construction climatology. Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011.127 p. [in Ukrainian].
27. Palamarchuk L.V., Sokur K.S., Zabolotska T.M. Dynamics of precipitation intensity and mesostructural features of their fields in the warm season in the plain part of Ukraine. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2019. № 4 (55). P. 95-111. [in Ukrainian].
28. Perevoznikov B.F. Calculations of the maximum runoff during the design of road structures. Transport, 1975. 304 p. [in Russian].
29. VSN 63-76 Instruction for calculating stormwater runoff from small basins. 1976. 101 p. [in Russian].
30. Bolshakov V.A., Kurganovich A.A. Hydrological and hydraulic calculations of small road structures. Vysshaya shkola, 1983.280 p. [in Russian].
31. Konstantinov N.M., Chistyakov I.V..Calculation of the road drainage system. 2011.40 p. [in Russian].
32. Manual to DSTU 9057: 2020 Guidelines for the design and installation of surface drainage facilities on public roads. K., 2020.121 p. [in Ukrainian].
33. Kaskiv V. I., Havryshchuk V. V. Substantiation of the feasibility of designing surface drainage systems as part of a complex of treatment facilities on highways. Roads and bridges. 2020. Issue 21. P. 95-109. [in Ukrainian]
34. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. Heliyon. Volume 6, ISSUE 12, E05687, December 01, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687>
35. Solodkyi S.Y., Kaskiv V.I., Havryshchuk V.V. Surface concentration of runoff and calculated slope of roads. Automobile roads and road construction. 2019. Issue 106. P. 46-53. [in Ukrainian]
36. MP B 2.3-02070915-849:2014 Methodical recommendations for regulation of water-heat regime within the working layer of road subgrade. 2014.61 p. [in Ukrainian]
37. M 218-02070915-684:2011 Methods for determining the capacity of a shallow drainage structure taking into account the annual cycle of operation. 2011.26 p. [in Ukrainian]
- 38.MR V.2.3-37641918-933:2023 Methodical recommendations for the design of road structures with shallow transverse tubular drains based on the study of the stress-strain state. 2023. 31 p. [in Ukrainian]
39. Manual on designing methods for regulating the water-heat regime of the upper part of the subgrade (to SNiP 2.05.02-85).1989.97 p. [in Russian].
40. Lebedev A.N. Estimation of probabilistic characteristics of precipitation in Western Europe. Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Vovyeikov. 1977. Issue 390. P. 115-125 [in Russian].