

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАВРИЩУК ВЛАДИСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625.745.3

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЙНОГО ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.В. Гаврищук

Науковий керівник –
Каськів Володимир Іванович
кандидат технічних наук,
доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ О.Ю.Усиченко

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Гаврищук В.В. Удосконалення методу проєктування лінійного поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг. – Кваліфікаційна наукова праця 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.

Дисертаційна робота присвячена розробленню методу проєктування водовідведення на автомобільних дорогах, шляхом підвищення точності гідравлічних розрахунків, застосуванням сучасних технологій для підвищення безпеки руху.

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження та її актуальність, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено основні результати одержані автором, виділено їх наукову новизну та практичну цінність.

У **першому розділі** «Аналіз методів проєктування та розрахунків поверхневого стоку з автомобільних доріг» представлено огляд основних методів виконання гідравлічних розрахунків водовідвідних мереж та аналіз діючих методів проєктування водовідведення з автомобільних доріг та засобів, які влаштовуються на них. Виявлено, що діюча в Україні методика гідравлічного розрахунку не дозволяє визначити тривалість формування поверхневого стоку для лінійних у плані водозбірних басейнів, що в результаті впливає на визначення кількості опадів та вибір заходів для мінімізації їх впливу.

Проведено аналіз та виявлено, що чинна методика проєктування водовідведення є не ефективною, також вона суттєво впливає на забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Заходи, які використовуються при проєктуванні були

запропоновані для організації водовідведення ще за радянських часів й можуть забезпечити лише локальний ефект.

Виконано аналіз сучасних рішень, які застосовуються у міжнародній практиці, технічні та технологічні характеристики яких відповідають вимогам до елементів дорожньої конструкції й конструкцій штучних споруд та вирішують питання захисту навколишнього середовища у напрямках унеможливлення забруднення ґрунтового та водного середовищ.

Виконано аналіз ефективності форми гідравлічного перерізу систем поверхневого водовідведення. Наведено основні вимоги до елементів водовідведення. Досліджено фактори, які впливають на рух та пропускну здатність водовідвідних систем.

Виконано аналіз санітарно-технічних рішень, які виконуються на автомобільних дорогах. Виявлено ряд факторів, вплив яких на навколишнє середовище необхідно зменшити шляхом удосконалення санітарно-технічних рішень.

У **другому розділі** «Теоретичні аспекти удосконалення методу розрахунку водовідведення на автомобільних дорогах» виконано аналіз недоліків відомих методів, щодо визначення складових тривалості розрахункового дощу, також виявлено відсутність в розрахунках параметра, який характеризує змочування покриття та руху по ньому стоку із зменшеною дією сили тертя.

Вперше встановлено залежність тривалості формування поверхневого стоку для лінійних у плані водозбірних басейнів. Розроблено математичну модель розрахунку тривалості формування поверхневого стоку з покриття автомобільних доріг з шириною водозбірного басейну (3,75 – 15,0) м та поздовжніми похилами від 0 ‰ до 30 ‰. Виконано аналітичні дослідження впливу співвідношення в'язко-пружних властивостей води стоку. Проведено порівняльний аналіз розрахункової моделі визначення тривалості формування поверхневого стоку при розрахункових значеннях 65,3 (л/с)·га та 166,7 (л/с)·га, що відповідає мінімальному

регламентованому значенню розрахункової інтенсивності опадів в регіонах України та стихійному метеорологічному явищу відповідно.

Вперше встановлено вплив поздовжнього похилу на зміну розрахункових параметрів лінійної в плані водозбірної ділянки та запропоновано визначати та застосовувати розрахункові похил та ширину лінійного в плані водозбірного басейну. Розрахункова величина добігання стоку при ширині проїзної частини – $2 \times 3,75$ м та при зміні поздовжнього похилу, в діапазоні від 0,001 до 0,1 варіюється в межах від 7,506 м до 30,323 м.

Визначено основні гідравлічні параметри: площу живого перерізу та змочений периметр водовідвідного каналу при роботі системи водовідведення неповним перерізом.

Виконано аналіз доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах загального користування. На основі аналізу вантажних та пасажирських транспортних перевезень виконано аналіз техногенного впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Сучасні рішення з водовідведення дають можливість: зменшення величини поперечного профілю, землевідведення, за рахунок відсутності потреби у влаштуванні ґрунтової канами чи відкритого лотка на (8-17) %, при висоті насипу чи глибині виїмки до 3 м. А також, зниження забруднення укосів земляного полотна та мінімізації інфільтрації забрудненого поверхневого стоку.

Виконано аналіз вимог до локальних очисних споруд, оцінено недоліки та неефективність традиційних методів очищення дощового стоку. Рекомендується, для фільтрації стоків у ґрунт або відведення на рельєф, застосовувати гранично-допустимі концентрації стоку, як і в водойми.

У **третьому розділі** «Математичні та натурні дослідження теоретичних положень» проведено теоретичну перевірку отриманих залежностей формування поверхневого стоку шляхом порівняльного аналізу отриманих результатів з

результатами розрахунків за відомими емпіричними та напівемпіричними методами.

Виконано теоретичні та практичні дослідження пропускної здатності водовідвідних каналів. Визначено недоліки відомих методів оцінки пропускної здатності відкритих каналів або лотків, визначено що: діючі методики не враховують гальмування потоку в каналі за рахунок надходження стоку по всій довжині; не враховують накопичувальний характер роботи водовідвідних каналів, та не враховують вплив довжини лінії на загальний результат роботи в цілому, а не окремого одиничного елемента; не враховують імпульс стоку, який потрапляє в канал при опадах малої інтенсивності; показують результат в цілому, а не визначають наповнення будь-якої ділянки розрахункової лінії водовідвідних каналів; не забезпечують можливість визначення змінної швидкості залежно від довжини лінії водовідвідних каналів.

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

У **четвертому розділі** «Практичне застосування результатів досліджень» 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, а саме тривалість формування поверхневого стоку, розрахунковий похил та розрахункова ширина водозбірного басейну.

Наведено типові схеми для забезпечення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) 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. Встановлено

характерні типи ділянок автомобільних доріг, на яких потрібно виконувати відповідні санітарно-технічні заходи.

Розроблено типові комплексні схеми з організації санітарно-технічних рішень для типових ділянок автомобільних доріг із забезпеченням мінімізації впливу автомобільного транспорту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на навколишнє середовище. Типові комплексні рішення розроблені з урахуванням класифікації ділянок автомобільних доріг наведених в розділі 3.

Представлені рекомендації для вибору оптимальних рішень з влаштування водовідведення на автомобільних дорогах. Наведені типові схеми виконання водовідведення в залежності від умов проєктування траси автомобільної дороги. Розроблено технологію виконання монтажних робіт, а також представлено технологічну схему з експлуатаційного утримання системи поверхневого водовідведення та очисних споруд.

У **додатках** наведено методичні рекомендації з виконання гідравлічного розрахунку, впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи, таблиці пропускної здатності водовідвідних систем, статистичні дані гідрометеослужб, копії документів щодо типів пального, які дозволені на ринку України, список опублікованих праць.

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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.

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, 2020.

The dissertation work is devoted to development of the highways surface drainage designing method, by the accuracy of hydraulic calculations increasing, modern technologies application for traffic safety increasing.

The introduction substantiates the research topic choice relevance, formulates this study purpose and objectives, presents the main results obtained by the author, highlighted their scientific novelty and practical value.

The first section "Analysis of roads surface runoff design and calculation methods" provides an overview for the main hydraulic calculations performing methods of drainage networks and analysis of existing methods for designing drainage from roads and arranged facilities. It is shown that the current method of hydraulic calculation in Ukraine does not allow determining the surface runoff formation duration for linear catchment basins, which affects the precipitation determination and the measures choice to minimize their impact.

The performed analysis shows that the current drainage design method is not effective; it also significantly affects the soils and groundwater pollution. The design measures used were suggested for the drainage organization in Soviet times and can provide only a local effect.

An analysis of the modern solutions was performed. The technical and technological characteristics of these international solutions meet the road elements construction and artificial structures requirements and address environmental issues in order to prevent soil and aquatic environments pollution.

The analysis of efficiency of the hydraulic section form of surface drainage systems was performed. The main requirements for drainage elements are provided. Factors, which influence the drainage systems movement and capacity, are studied.

The analysis of highways sanitary and technical measures was performed. A number of factors was identified, the impact of which on the environment must be reduced by improving sanitary measures.

The second section "Theoretical aspects of the highways calculation drainage method improvement" provide analysis the known methods shortcomings for the calculated rain duration components determining. It also shows the absence of the parameters, which characterize the coating wetting and the reduced friction runoff movement in the calculations.

For the first time, the dependence of the surface runoff formation duration for linear catchment basins was established. A mathematical model was calculated for the surface runoff formation duration from the roads pavement with the width of the catchment area (3,75 – 15,0) m and longitudinal slopes from 0 ‰ to 30 ‰. Analytical studies of the ratio effect of runoff water viscoelastic properties were performed. A comparative analysis was performed for the calculation model for determining the surface runoff formation duration at the calculated values 65,3 (l/s)·hectare and 166,7 (l/s)·hectare, which corresponds to the minimum regulated value of the estimated intensity of precipitation in the regions of Ukraine and the natural meteorological phenomenon, respectively.

For the first time, the longitudinal slope influence on the calculated parameters change of the linear catchment area was established and it was suggested to determine and apply the calculated slope and width of the linear catchment area. Estimated value of runoff at the carriageway width – 2 x 3,75 m and with the longitudinal slope change, in the range of 0,001 to 0,1 varies from 7,506 m to 30,323 m.

The main hydraulic parameters are determined: the living cross-sectional area and the wetted perimeter of the drainage channel with the operating drainage system with incomplete cross-section.

The analysis of expediency of surface drainage systems design as a component of a treatment facilities complex on public roads is performed. Based on the analysis of freight and passenger transport, the analysis of the highway man-caused impact on the environment was performed. Modern drainage solutions make it possible to: reduce the transverse profile drainage size, due to the lack of need for a ditch or open tray by (8 - 17) %, with the height of the embankment or the depth of the excavation up to 3 m, minimizing infiltration of contaminated surface runoff.

The analysis of local treatment facilities requirements was performed; the shortcomings and inefficiency of traditional rainwater treatment methods are assessed. It is recommended to use MPC, as well as in reservoirs, for filtration of sewage into the soil or diversion to the relief.

In **the third section** "Mathematical and field studies of theoretical provisions", conducted a theoretical verification of the dependences of surface runoff formation by comparative analysis of the results with known empirical and semi-empirical calculation methods.

Theoretical and practical researches of drainage channels throughput were performed. The disadvantages of the known methods for open channels or trays capacity estimation were determined. The current methods do not take into account the channel flow inhibition due to the runoff flow along the entire length. They do not take into account the cumulative nature of the drainage channels, and the line length influence on the overall result as a whole, rather than a single unit. They do not take into account the flow impulse that enters the channel during low-intensity precipitation; show the result as a whole, and do not determine the filling of any section of the settlement line of drainage channels. They do not provide the ability to determine the variable speed depending on the drainage line length.

A study of the probability of the calculated rains impact on the safety of vehicles were performed. Statistical analysis of anomalous precipitation by regions is provided.

The fourth section "Practical application of research results" presents recommendations for comprehensive improvement of the hydraulic calculations accuracy of surface drainage systems with roads cover and local stormwater treatment plants.

Methods for performing hydraulic calculations of surface drainage systems and local stormwater treatment plants based on the developed method were developed, namely the surface runoff formation duration, the calculated slope and the estimated width of the catchment area.

Typical schemes for ensuring the maximum allowable runoff concentrations into reservoirs, for filtration into soils and for the installation of evaporation basins are given. The classification of sanitary-technical complex measures depending on probable size of influence is developed and suggested. Types of highways sections on which it is necessary to provide the corresponding sanitary and technical actions were established.

Typical complex schemes for the sanitary and technical measures organization for typical sections of roads with minimization of the impact of road transport and maintenance of roads on the environment was developed. Typical integrated solutions are developed taking into account the highways sections classification given in section 3.

Recommendations for the optimal solutions selection for the highways drainage installation are presented. Typical drainage schemes provided depending on the conditions of highway route design. The installation works technology is developed, and also the technological scheme on operational maintenance of the surface drainage system and treatment facilities is presented.

The supplements contain methodological recommendations for hydraulic calculation performing, dissertation research results implementation, drainage systems capacity tables, hydrometeorological services statistics, documents copies on fuel types allowed on the Ukrainian market, published works list.

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

LIST OF THE APPLICANT'S PUBLICATIONS

Scientific works publishing the main scientific results of the dissertation:

Articles in foreign or Ukrainian publications that are included in international scientometric databases:

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>

Articles in professional publications:

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.

Published works of approbation nature:

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)

The scientific results of the dissertation also reflected in:

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.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	23
1.1 Аналіз методів розрахунку систем поверхневого водовідведення	23
1.2 Аналіз методів проєктування поверхневого водовідведення з автомобільних доріг	31
1.3 Аналіз систем лінійного водовідведення	40
1.4 Аналіз комплексних рішень для організації водовідведення з автомобільних доріг та штучних споруд	45
Висновки до розділу 1, мета та завдання дослідження	46
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ЛІНІЙНОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПОВЕРХНІ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ	49
2.1 Теоретичні передумови	49
2.2 Обґрунтування тривалості формування поверхневого стоку	52
2.3 Визначення розрахункових параметрів лінійного в плані водозбірного басейну	69
2.4 Обґрунтування ефективної геометричної форми каналу при роботі не повним перерізом	77
2.5 Обґрунтування ефективності застосування лінійного поверхневого водовідведення	80
Висновки до розділу 2	92
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ТА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЛОТКОВИХ КАНАЛІВ.....	94
3.1 Перевірка теоретичних результатів	94

3.2 Експериментальні дослідження визначення пропускної здатності лоткових каналів систем поверхневого водовідведення	100
3.3 Натурні дослідження визначення тривалості формування поверхневого стоку	113
3.4 Дослідження впливу системи поверхневого водовідведення на безпеку руху	119
Висновки до розділу 3	126
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
ДОСЛІДЖЕННЯ	127
4.1 Рекомендації з комплексного підвищення точності гідравлічних розрахунків системи поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг	127
4.2 Методики гідравлічного розрахунку системи поверхневого водовідведення	130
4.3 Санітарно-технічні рішення для доріг різних категорій	140
4.4 Рекомендації із застосування лоткових каналів для поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.....	145
Висновки до розділу	157
ВИСНОВКИ	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
ДОДАТОК А ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	180
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ЩОДО РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕТИЛЬОВАНОГО БЕНЗИНУ	186
ДОДАТОК В СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ГІДРОМЕТЕОСЛУЖБ	189
ДОДАТОК Г СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	195

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. 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 антиожеледними 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 канами 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.

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» (РК 0116U002491); та Тематичним планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є удосконалення методу проєктування лінійних лоткових каналів поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *завдання*:

- виконати аналіз методів проєктування 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.

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 проєктні рішення для влаштування лінійного поверхневого водовідведення при проєктуванні 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 заплавних 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 – Староконстантинів 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. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях: [68, 107] - проведено аналіз діючих методів проектування водовідведення з автомобільних доріг; [108] – виконано аналіз факторів, які впливають на точність гідравлічних розрахунків, досліджено вплив поздовжнього похилу автомобільної дороги на спотворення результатів розрахунків; [138, 174] – визначено перспективні напрямки підвищення ефективності природоохоронних заходів, вивчено питання мінімізації впливу на навколишнє середовище забрудненого поверхневого стоку з проїзної частини, досліджено основні переваги впровадження сучасних рішень з водовідведення, визначено фактичну величину впливу транспорту на навколишнє середовище; [139] – 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); [195] – виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування лоткових водовідвідних каналів для відведення поверхневого стоку з покриття автомобільних доріг; [149, 196] – виконано аналітичні та експериментальні дослідження пропускну здатності лоткових водовідвідних каналів.

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:

- щорічній 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, 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ З АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1 Аналіз методів розрахунку систем поверхневого водовідведення

Вода є одним з основних природних ресурсів, однак в той же час, вода є причиною стихійного лиха. В Україні, як і у всьому світі, активно продовжується тенденція урбанізації. Урбанізація характеризується зростанням площ водонепроникних покриттів. Покриття автомобільних доріг: асфальтобетонні та цементобетонні, класифікуються як водонепроникні [1]. Розвиток мережі автомобільних доріг [96], спричиняє швидкий ріст порушення гідрологічного балансу місцевості. Збільшення об'ємів дощового стоку та висока забрудненість доріг спричиняє погіршення санітарного стану ґрунтів природних водойм та підземних вод [83, 98]. Вагомий внесок у розвиток наукових теорій та методів проєктування систем збору, очищення, управління поверхневими стоками внесли роботи М.І. Алексєєва, Б.Ф.Перевознікова, В.О. Большакова, О.А. Кургановича, Л.Г. Бегама, О.К. Біруля, В.С. Дикаревського, А.М. Курганова, В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєва, Г.Р. Седергрена М.А., Дж. Гуо (J. Guo), В. Хубера (V. Huber), С.Г. Ткачука, В.М. Жука та ін [20, 23, 24, 31, 32, 46, 47, 48, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 80, 92, 178, 179, 180, 182, 191, 192].

Визначення величини дощового стоку залежить не лише від кількості опадів, характеру, інтенсивності опадів, типу покриття, а також – від системи водовідведення. Наведені фактори впливають на кількість стоку, який може бути зібраний з площі водозбірного басейну. Дослідженню питання розрахунку дощової каналізації присвячено безліч наукових праць [22, 23, 44, 45, 46, 48, 51, 53, 54, 57, 80, 91, 98, 110, 111, 112, 113, 125, 155, 168, 171] та ін. У вітчизняній практиці найчастіше застосовується метод граничних інтенсивностей [1]. Паралельно при

проектуванні аеропортів застосовується інший метод визначення розрахункової витрати дощових вод [94, 95], в основі якого лежить визначення інтенсивності однохвилинного дощу.

У світовій інженерній практиці не має єдиного загальновизнаного підходу до побудови гідрографів притоку дощових вод. Теоретичні, напівемпіричні та виключно емпіричні залежності для визначення часу поверхневої концентрації стоку наведено у науковій літературі [9, 16, 22].

Серед відомих методів розрахунку дощової каналізації [80] найпоширенішими є: метод граничних інтенсивностей [1], раціональний метод [22, 56, 170], графічний метод SCS США [99], метод Андерсона [33], та ін. На території України, як і країнах колишнього Радянського союзу, найпоширенішим є метод граничних інтенсивностей [1]. Секундну витрату визначають за формулою:

$$Q_r = \frac{z_{mid} A^{1.2} F}{t_r^{1.2n-0.1}} \eta \cdot m, \quad (1.1)$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта, який характеризує поверхню басейну стоку;
 A і n – параметри, які залежать від кліматичних особливостей регіону, при періоді одноразового перевищення P ;

F – загальна площа басейну стоку, га;

t_r – розрахункова тривалість дощу, що дорівнює часовій концентрації поверхневого стоку для даного перерізу, хв;

η – коефіцієнт, що враховує нерівномірність випадання дощу;

m – коефіцієнт, що враховує тривалість дощу.

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r}\right)^\gamma, \quad (1.2)$$

де q_{20} – інтенсивність дощу, (л/с)·га, тривалістю 20 хв при $P=1$ рік.

Розрахункова тривалість дощу, відповідно до рекомендацій [1], слід визначати за формулою:

$$t_r = t_{con} + t_{can}, \quad (1.3)$$

де t_{con} – час поверхневої концентрації стоку, хв;

t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв.

Основним недоліком даного розрахунку, являється хибне тлумачення показника часу поверхневої концентрації стоку. Даний показник є змінним і залежить від наступних факторів: ширини площі водозбору, типу покриття та його шорховатості, поперечного похилу площі водозбору, а також неможливості врахування форми площі водозбору. В загальному випадку, для спрощення, методики розрахунку об'єму дощового стоку зводяться до прямокутної форми.

Відповідно до [194] витрату дощового стоку виконують за формулою:

$$Q_{max} = 16.7 \cdot \alpha_{час} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \phi, \quad (1.4)$$

де Q – максимальне значення витрати стоку дощових вод, м³/с;

$\alpha_{час}$ – інтенсивність опадів, мм/хв, годинної тривалості визначається з розрахунковою імовірністю перевищення 0,1; 0,3; 1; 2; 3; 4; 5; 10 років у відповідності з кліматичним районуванням;

K_t – коефіцієнт стоку;

F – площа водозбірного басейну, км²;

α – коефіцієнт втрат потоку, визначається в залежності від типів ґрунтів та площі водозбірного басейну;

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

В іноземній практиці є ряд розрахунків поверхневого стоку. Однак, майже всі вони мають розрахункові розміри площі водозбірного басейну досить великих розмірів. Загальні характеристики міжнародних методів розрахунку поверхневого стоку, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Загальні характеристики методів розрахунку дощового стоку іноземної практики

Метод	Обмеження розмірів	Область застосування
Методи пікових потоків, Раціональний метод	До 200 акрів	Метод може бути використаний для оцінки пікових потоків та проєктування малих транспортних систем
Рівняння регресії	Від 17 і 2600 акрами з визначеними каналами	Метод може бути використаний для оцінки пікових потоків уздовж потоків I рівня та II рівня. Більш конкретні обмеження розміру викладені у кожному звіті USGS (Геослужба США)
Метод порядкових кривих SCS	Піковий потік для площі від 200 до 640 акрів	Метод може бути використаний для оцінки пікових потоків та проєктування великих транспортних систем
Затверджені методи розрахунку гідрографа	Всі розміри площі дренажу	Метод може бути використаний для оцінки пікових потоків та гідрографів для всіх проєктних застосувань

Розглянемо Раціональний метод, він є найбільш відповідним методом розрахунку дощового стоку вимогам проєктування поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг. Раціональний метод застосовується для басейнів стоку з максимальною площею до 80 га [35, 80]. Відповідно до цього методу, максимальна витрата дощового стоку залежить від інтенсивності дощу, гідрогеологічних умов та характеристик мережі каналізування. У випадку невеликих та водонепроникних басейнів стоку, основним чинником є інтенсивність дощу. Застосування Раціонального методу повинно обмежуватися оцінкою та проєктуванням зливових каналізаційних систем, малих відкритих каналів, придорожніх канав, наземного потоку, неглибокого концентрованого потоку,

бордюрів дорожнього полотна та дощових каналізаційних каналів. Показник " Q " отримують з рівняння:

$$Q = fCIA, \quad (1.5)$$

де Q – витрата в кубічних футах на секунду;

f – коефіцієнт коригування значення для шторму на проєкті, наведений у таблиці 1.2 (коефіцієнт стоку 7);

C – коефіцієнт стоку, (див. таблицю 1.2.) Середній показник C повинен бути обчислений, виходячи з кожного відсотка використання земель у зоні водовідведення, в залежності від щільності забудови (5);

I – середня інтенсивність опадів в дюймах на годину для даного штормового періоду;

A – розрахункова площа, акр.

Коефіцієнт стоку виражається як безрозмірне десяткове значення, яке оцінює відсоток опадів, що перетворюється на стік. Коефіцієнти стічного живлення в таблиці 1.2 використовуються для прогнозів стоку за допомогою раціональної формули. Коефіцієнти стоку, які використовуються для проєктування потоків на місці для розробок цивільного, комерційного та промислового типу, повинні бути розраховані, виходячи з фактичних непроникних поверхонь, запланованих для місця забудови. Оцінка потоків за межами ділянки може бути визначена, використовуючи відповідний коефіцієнт стоку для нерозвиненого землекористування та типи забудови: житлові, комерційні та промислові (табл. 1.2.) [35, 80].

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти стоку з поверхонь

Тип покриття та гідрологічний стан	Середній відсоток водонепроникної площі (5)	Коефіцієнт стоку (7)			
		A	B	C	D
Повністю розвинені міські райони (створена рослинність) (1)					
Непроникні ділянки:					
Асфальтовані паркувальні майданчики, дахи, проїзди тощо (за винятком «права проїзду»)		0,94	0,94	0,94	0,94
Відкритий простір (газони, парки, поля для гольфу, кладовища тощо):					
Поганий стан (трав'яний покрив – 50 %)		0,29	0,48	0,63	0,70
Досить добрий стан (трав'яний покрив від 50 % до 75 %)		0,07	0,30	0,48	0,58
Хороший стан (трав'яний покрив – > 75 %)		NA	0,19	0,39	0,50
Комерція та бізнес (TND - TC) (6)	85	0,70	0,77	0,83	0,85
Індустріальні	72	0,52	0,67	0,75	0,80
Житлові райони за середнім розміром ділянки :					
Багатосімейний (TND - NC)	80	0,63	0,75	0,80	0,83
Від 1/12 до 1/6 акра (TND – NG)	75	0,56	0,70	0,77	0,83
1/8 акра (TND – NE)	65	0,44	0,60	0,72	0,77
1/4 акра	38	0,19	0,40	0,56	0,65
1/2 акра	25	0,11	0,32	0,50	0,60
1 акр	20	0,08	0,29	0,48	0,58
Нерозвинені або сільськогосподарські угіддя (1)					
Оброблювана земля:					
Без консерваційних процедур		0,35	0,52	0,67	0,75
З консерваційними процедурами		0,21	0,34	0,46	0,52
Пасовища або безперервні паші для випасу	Гідрологічний стан:				
	Поганий	0,29	0,48	0,63	0,70
	Досить добрий	0,07	0,30	0,48	0,58
	Хороший	NA	0,19	0,39	0,50
Луг - суцільна трава, захищена від випасу і загалом скошена для сіна	--	NA	0,16	0,34	0,46
Чагарники - чагарниково-бур'яново-трав'яна суміш з чагарником як основним елементом (3)	Поганий	0,06	0,27	0,44	0,56
	Досить добрий	NA	0,18	0,37	0,48
	Хороший	NA	0,06	0,25	0,37
Ліси (4)	Поганий	0,04	0,26	0,44	0,56
	Досить добрий	NA	0,18	0,37	0,48
	Хороший	NA	0,12	0,32	0,44
Садоби - будинки, провулки, проїзди та прилеглі ділянки	--	0,17	0,39	0,54	0,63

Останнім часом в Україні набула широкого поширення практика влаштування лінійного водовідведення на штучних злітно-посадкових смугах [152]. У вітчизняній практиці застосовується методика з урахуванням параметрів площі водозбору, які в [1] не обґрунтовані. Гідравлічний розрахунок для ШЗПС аеропортів, відповідно до [94], має вигляд:

$$Q = S \cdot F, \quad (1.6)$$

де S – величина стоку, мм;

F – площа басейну водозбору, га.

$$S = \frac{166,7 \cdot \Delta \Psi}{t^n}, \quad (1.7)$$

де Δ – параметр, рівний інтенсивності однохвилинного дощу прийнятої повторюваності, мм/хв;

Ψ – коефіцієнт стоку;

t – тривалість дощу, рівна тривалості дотікання дощових вод до розрахункового перерізу, хв;

n – показник ступеню, що характеризує зміну розрахункових характеристик дощів у часі.

Коефіцієнт стоку Ψ при розрахунку дощового стоку: 0,95 – для асфальтобетонних; 0,85 – для цементобетонних; 0,60 – для щебневих матеріалів оброблених в'язучим; 0,4 – для щебневих та гравійних матеріалів не оброблених в'язучим. Для ґрунтових поверхонь, при відсутності дерну: 0,25 – супісок; 0,30 – суглинок; 0,35 – глини; при наявності дерну: 0,15 – супісок; 0,20 – суглинок; 0,25 – глини.

При різнотипних типах покриттів, коефіцієнт стоку приймається, як середньозважена величина пропорційна площі ділянки з різнотипним покриттям.

$$\Delta = \frac{20^n \cdot q_{20} (1 + ClgP)}{166,7}, \quad (1.8)$$

де q_{20} – параметр, рівний інтенсивності дощу тривалістю 20 хв, при $P=1$ рік, (л/с)·га;

C – кліматичний коефіцієнт;

P – період повторюваності розрахункових опадів, рік.

Тривалість поверхневої концентрації добігання стоків до водовідвідного каналу:

$$t_{\text{скл}} = \left(\frac{2,41 \cdot n_* \cdot B_{\text{роз}}}{\Delta^{0,72} \Psi^{0,72} J_{\text{роз}}^{0,5}} \right)^{\frac{1}{1,72 - 0,72n}}, \quad (1.9)$$

де $B_{\text{роз}}$ – розрахункова ширина площі водозбору, м;

$J_{\text{роз}}$ – розрахунковий похил площі водозбору;

n_* – коефіцієнт шороховатості;

Ψ – коефіцієнт стоку.

В залежності від співвідношення поздовжнього до поперечного похилів, параметри ширини розрахункової площі та розрахункового поперечного похилу до водовідвідного каналу має відмінності:

При

$$\frac{J_{\text{позд}}}{J_{\text{поп}}} \geq 0,5, \quad (1.10)$$

$$J_{\text{роз}} = \sqrt{J_{\text{позд}}^2 + J_{\text{поп}}^2}, \quad (1.11)$$

$$B_{\text{роз}} = \frac{B}{J_{\text{поп}}} \sqrt{J_{\text{позд}}^2 + J_{\text{поп}}^2}, \quad (1.12)$$

де $J_{\text{позд}}$ – поздовжній похил водозбірної ділянки, %;

де $J_{\text{поп}}$ – поперечний похил водозбірної ділянки, %;

B – фактична ширина водозбірної ділянки, м.

А при:

$$\frac{J_{\text{позд}}}{J_{\text{поп}}} < 0,5, \quad (1.13)$$

$$J_{\text{роз}} = J_{\text{поп}}, \quad (1.14)$$

$$B_{\text{роз}} = B. \quad (1.15)$$

Суттєві відмінності у розрахунку тривалості розрахункового дощу вказують на недоліки припущень у застосуванні емпіричних даних.

1.2 Аналіз методів проєктування поверхневого водовідведення з автомобільних доріг

Водовідведення – сукупність санітарно-технічних заходів, які забезпечують відведення стічних вод з територій населених пунктів або промислових підприємств. Відведення стоку треба забезпечувати шляхом комплексного вирішення питань організації рельєфу і влаштування відкритої або закритої системи водовідведення: водостічних труб (водостоків), лотків у зборі з водоприймальними решітками, дощоприймачів, кюветів, зливоприймальних колодязів, локальних очисних споруд [2]. До системи відведення поверхневого стоку треба включати засоби щодо очищення поверхневого стоку від твердих частинок та нафтопродуктів [1, 2, 3]. Нормативні документи [1, 4, 5, 11, 13, 14, 64, 86, 87] регулюють очищення дощового стоку від завислих речовин та нафтопродуктів. Міжнародні стандарти регламентують не лише очищення від нафтопродуктів та завислих речовин, суттєвий вплив приділяють очищенню стоків від важких металів [65]. Проте захист гідрогеологічного середовища залежить виключно від вибору системи

водовідведення на етапі проєктування. Проєктування поверхневого водовідведення слід виконувати з урахуванням мінімального об'єму земляних робіт та обов'язкового влаштування локальних очисних споруд, а також передбачати стік води з швидкостями та об'ємами, що унеможливають ерозію ґрунту [1].

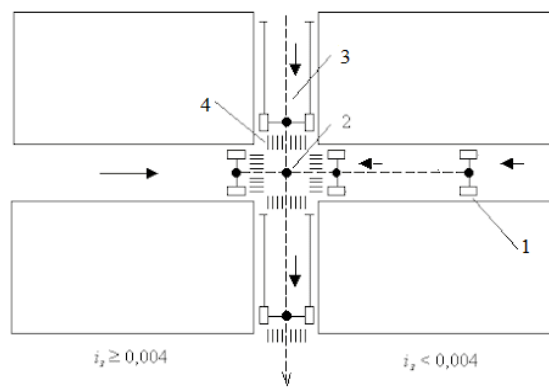
Відомо, що порівняно дешевим і конструктивно простим способом регулювання водно-теплового режиму земляного полотна є влаштування дренажного піщаного прошарку та поздовжнього дренажу мілкового залягання, оскільки правильно розрахована і збудована дренажна система швидко осушить верхню частину дорожньої конструкції в несприятливий період [34, 176-188]. Питанням водно-теплового режиму автомобільних доріг займались: В.М.Сіденко, С.А.Гриднев, В.А.Фомін, І.І.Леонович, Н.П.Вирко, С.С.Макаревич, Т.К.Богданович, Н.А.Пузаков, І.А.Золотарь, О.К.Біруля, В.І. Рувинський, О.Я.Тулаєв, М.Т. Кузло, В.Я.Савенко, О.С.Славінська та інші.

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. Дослідженням, вивченням, проєктуванням та розрахунками роботи дренажів мілкового закладення займались В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, Г.Р. Седергрен, М.А. Пузаков, І.А. Золотарь, С.С.Макаревич, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Я. Полубарінова-Кочіна, П.Д. Россівський, О.Я. Олійник, В.І. Рувінський, В.Л. Поляков, Ю.Д. Соколов, Н.П.Вирко, В.М. Шестаков та ін.

Проблемою організації водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг були присвячені праці Б.Ф.Перевознікова, Н.М.Константинова, Н.А.Петрова, А.А.Ільїною, Д.В.Штеренліхта, І.Ф.Пікалової, І.В.Чистякова, О.К. Біруля та інших вчених ХХ століття [20, 31, 32, 92, 189]. У сучасних нормативних документах [1, 12] розглядається в основному два методи відведення дощового стоку: відкритим та закритим способом. Питання комплексних санітарно-технічних рішень на

автомобільних дорогах практично не дослідженні. Основні дослідження даного напрямку виконувались в роботах [86, 141], для штучних споруд на автомобільних дорогах.

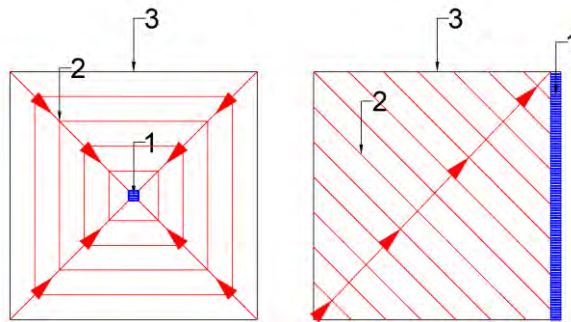
Як стверджують автори [1] закритий спосіб водовідведення являється більш досконалим. Закрита схема водовідведення представлена поєднанням дощоприймачів з зливоприймальними решітками [114], мережею трубопроводів та каналізаційних колодязів з люками (рис. 1.1).



1 – дощоприймачі; 2 – каналізаційні колодязі; 3- каналізаційний колектор;
4 – пішохідні переходи

Рисунок 1.1 – Типова схема влаштування водовідведення на перехресті

Закритий спосіб відведення поверхневого стоку доцільний при влаштуванні вертикального планування у вигляді конверту (рис. 1.2 а).



а) закритий спосіб, б) відкритий спосіб
1 – водовідведення; 2 – вертикальне планування; 3 – водозбірний басейн

Рисунок 1.2 – Принципові схеми водовідведення

Дана схема ефективна при проєктуванні квадратних або радіальних водозбірних басейнів. Для лінійних у плані водозбірних басейнів доцільним є застосування водовідвідного каналу, типова схема розміщення (рис. 1.2 б).

Загальна порівняльна характеристика закритого та відкритого способів водовідведення наведена на рисунку 1.3.

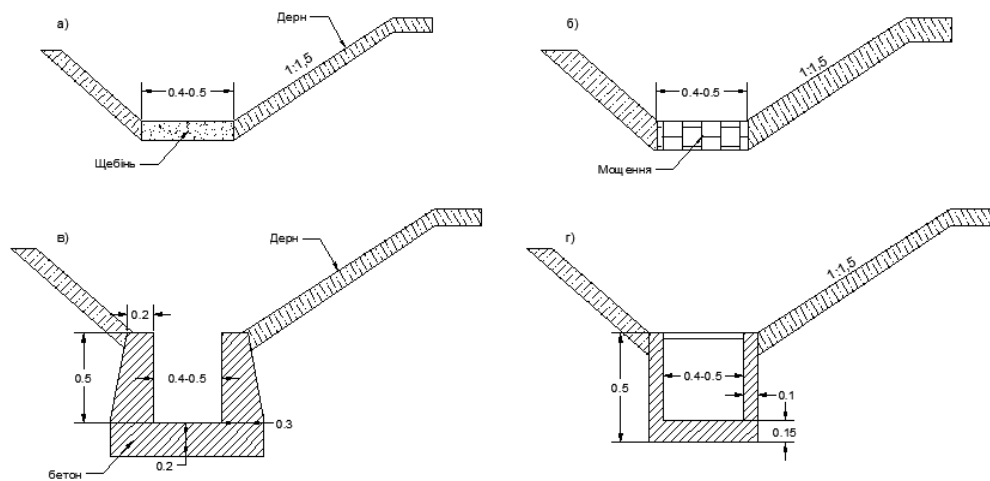


Рисунок 1.3 – Порівняльна характеристика закритого та відкритого способів поверхневого водовідведення

У вітчизняній практиці дослідженням питання проєктування водовідведення не було приділено достатньої уваги. Одне із перших рішень з проєктування відводу поверхневого стоку з покриття автомобільних доріг було описане О. К. Біруля [92]. Фактично, дане рішення відповідало потребам того часу, адже питання відводу земель забруднення навколишнього середовища не були пріоритетними. У 80-90

роках відбулися спроби удосконалити рішення для влаштування водовідведення [20], однак вони були невдалими, оскільки в сучасній нормативній документації та в перспективних проєктах [101, 106], без врахування технологічного прогресу, основним елементом дорожнього водовідведення залишається канава. Європейські та міжнародні практики мають суттєві відмінності від вітчизняних [123 – 126].

Найбільш вживаним рішенням з влаштування водовідведення при проєктуванні автомобільних доріг України є ґрунтова канава, а при високих показниках поздовжніх похилів – відкритий лоток (рис. 1.4) [92].



а – укріплені дренами; б – одернування стінки; в – бетонний лоток;
г – залізобетонний лоток

Рисунок 1.4 – Конструкції укріплених канав та лотків

Дане рішення є найбільш економічним при проєктуванні автомобільної дороги за межами населених пунктів та невисоких насипах [15]. Дане рішення є досить простим при проєктуванні, а також при будівництві, не потребує особливих капіталовкладень, однак це всі переваги даного рішення. Відповідно до [106], поперечний профіль автомобільної дороги влаштовується з похилом для відведення поверхневого стоку з проїзної частини на узбіччя та укоси земляного полотна.

Ґрунтову канаву влаштовують у підосви насипу. З точки зору економіки, дане рішення є ефективним, однак залишається не вирішеним питання надлишку стоку з водонепроникного покриття [1], як воно впливає на довговічність роботи дорожньої конструкції, та яка кількість забруднень від автомобільного транспорту потрапляє у навколишнє середовище. Ґрунтові канали не мають належного обґрунтування для потреб сьогодення. Однією з якісних характеристик системи водовідведення є швидкість транспортування стоків. Відповідно до [94], швидкість руху дощових стоків в каналі визначають за формулою (1.16).

$$V_{\text{лот}} = \frac{1}{n} \left(\frac{h_{\text{л}}}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}. \quad (1.16)$$

де n – коефіцієнт шорховатості;

$h_{\text{л}}$ – глибина потоку у ґрунтовій каналі, м;

i – похил дна ґрунтової каналі, ‰.

З урахуванням формули (1.16), визначимо швидкість потоку в ґрунтовому каналі при умові шару стоку в каналі 50 мм, діапазон поздовжніх похилів приймаємо – 0.001 - 0.04, допустимі похили для доріг І технічної категорії (рис. 1.5).

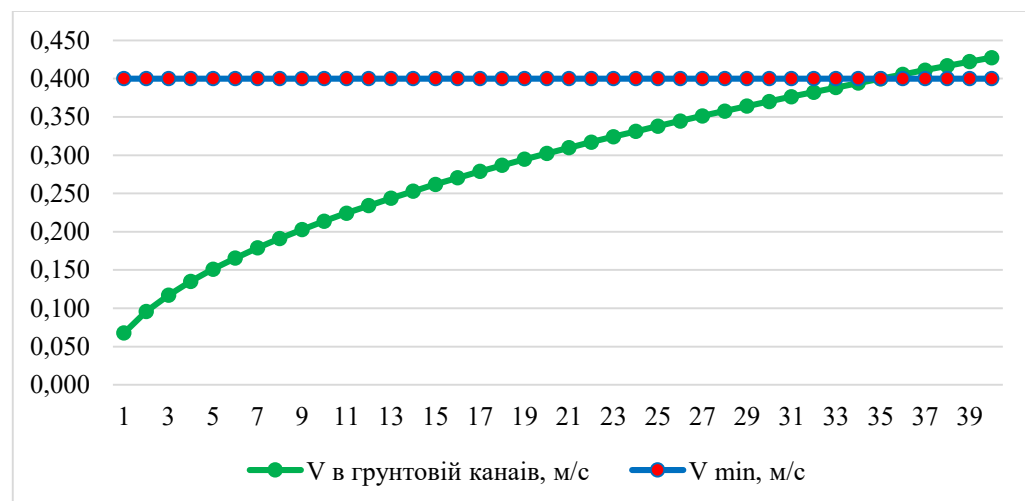


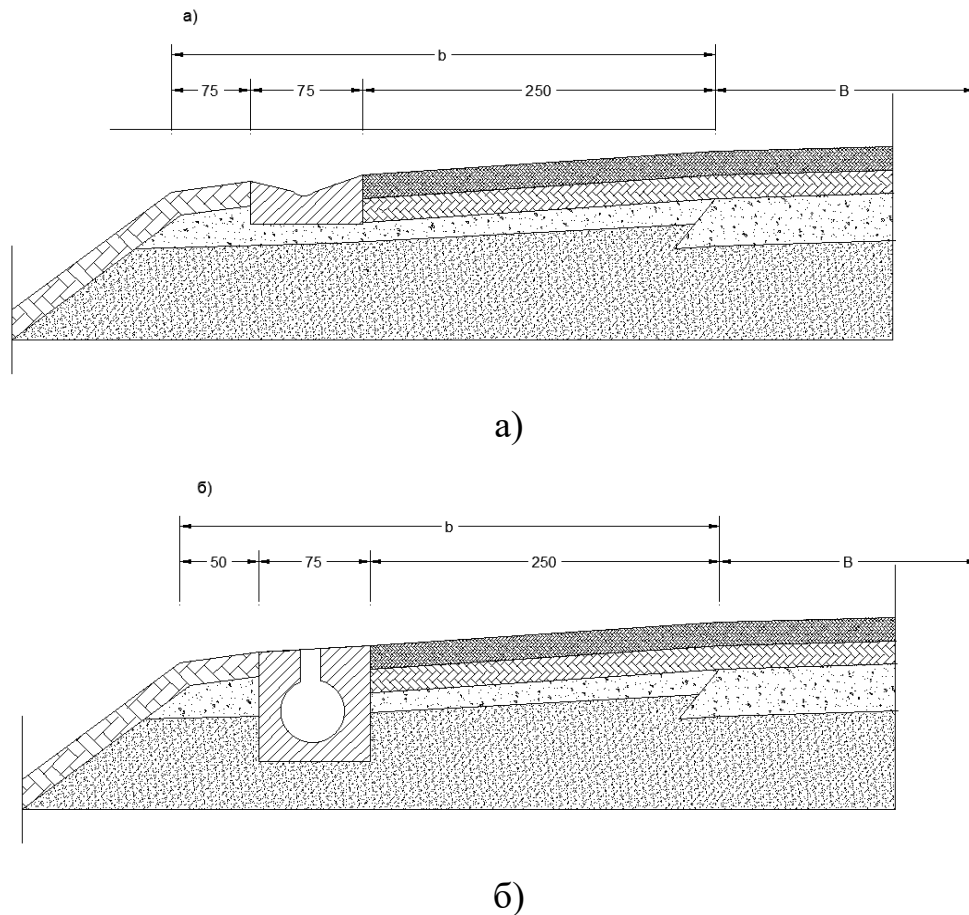
Рисунок 1.5 – Розрахункова та мінімально-допустима швидкості руху дощових вод в ґрунтовій каналі

Результати розрахунку рис. 1.5 описують роботу ґрунтових каналів при дощах малої інтенсивності. Характерним для ґрунтових каналів є відсутність формування мінімально-допустимої швидкості при невеликих наповненнях. Не забезпечення мінімально допустимої швидкості в ґрунтовій каналі спричинює осідання різного роду забруднень дощового стоку. Згідно з даними нормативного документу [1], 70 % річної кількості опадів становлять малоінтенсивні опади, що є найбільш забрудненою частиною річного стоку. Стоки малоінтенсивних опадів не забезпечуватимуть великого наповнення ґрунтових каналів, тому для їх якісного функціонування необхідно забезпечити поздовжній похил – 35 ‰ і більше. При поздовжніх похилах більше 30 ‰, необхідно влаштовувати водовідвідні споруди з транспортуванням зібраного стоку за межі земляного полотна. Фактично розрахункові положення та норми проектування суперечать одна одній [106].

Проводити паралелі з Європейськими країнами з аналогічною протяжністю мережі доріг було б хибно, оскільки на території України – «особливий» склад автомобільного транспорту.

Ще до кінця ХХ століття дорожня галузь мала спробу кардинально змінити рішення з водовідведення (рис. 1.6) [20]. Ефективне відведення дощового стоку можливе при достатній пропускній здатності системи. Ця характеристика залежить від шорховатості матеріалу, форми, розмірів та поздовжнього похилу. У 80-х роках з'явилися рішення, які вирішували проблему якісного водовідведення. Основною їх проблемою був низький показник пропускної здатності поверхневого стоку. Вони були обмежені у застосуванні та не забезпечували комплексного вирішення питання водовідведення. Також, водовідвідний лоток в дорожній конструкції повинен відповідати вимогам надійності, безпеки, довговічності, ефективності. Технологічні можливості 80-х років минулого століття не могли забезпечити ефективну конструкцію системи водовідведення. Дане рішення практично не було застосоване при проектуванні автомобільних доріг та не

знайшло відображення у будівельних нормах. Подальшого широкого застосування дані дослідження не отримали [107].



а – бетонний лоток з блоків; б – закритий бетонний лоток;
 b – ширина узбіччя; B – ширина проїзної частини

Рисунок 1.6 – Варіанти проектування системи поверхневого водовідведення

Переважає більшість країн світу оцінюють великий вплив автомобільних доріг на навколишнє середовище, це не лише забруднення ґрунтового, водного та повітряного середовищ, а й вплив на рельєф зі змінами подальшого руху поверхневих вод і відведення надлишку поверхневих стоків з водонепроникних покриттів, ерозії ґрунтів та замулення водойм. Традиційно, воду вважають однією з найбільших проблем доріг. Звичайно, це не лише поверхневі, а й ґрунтові води.

Оцінку впливу води на дорогу, в європейській практиці розглядають комплексно (рис. 1.7) [123].

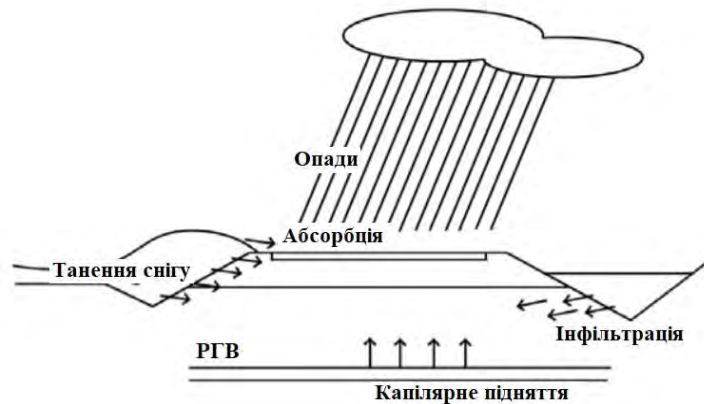


Рисунок 1.7 – Основні джерела зволоження дорожньої конструкції

В європейських практиках, навіть для доріг з низькою інтенсивністю руху, за аналогією V-IV категорії автомобільних доріг [106], визначається вплив замокання основи дорожнього одягу стоками з покриття (рис. 1.8). Надлишкова інфільтрація стоків з покриттів через укуси земляного полотна може слугувати причиною зменшення стійкості земляного полотна. У роботі [124] досліджується зміна рівності, а саме IRI показника через надлишкове водонасичення.

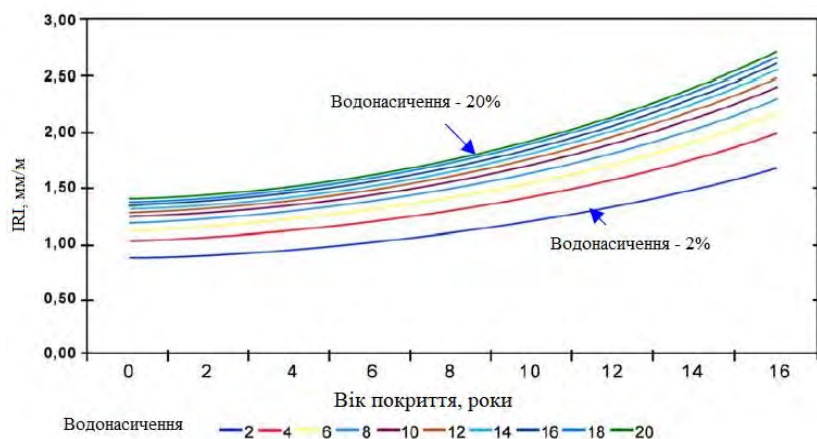


Рисунок 1.8 – IRI як функція терміну експлуатації та водонасичення основи без врахування морозостійкості

Європейські автомобільні дороги, які не розраховані на інтенсивний великовантажний та великогабаритний транспорт, втрачають рівність через надмірне водонасичення ґрунту основи без впливу фактору замерзання-розмерзання. Дану функцію залежності рівності від терміну експлуатації та водонасичення не можливо застосовувати до місцевих доріг України через кліматичні характеристики територій та перевантаження доріг понаднормовими навантаженнями від транспортних засобів [107].

Разом з збереженням дорожньої конструкції від руйнівного впливу води, велику увагу міжнародна спільнота приділяє питанням захисту довкілля. У зв'язку з загостренням питання зміни клімату, ряд країн анонсував розробку програм з управління поверхневими стоками [68]. Розроблені рішення для влаштування водовідведення, які на даний момент імплементовані в Україні [103]. В основу покладено завдання ефективного відведення стоків з покриттів при збереженні основних параметрів щодо міцності, морозостійкості, герметичності, хімічної стійкості та ін [7, 107]. Відповідно до європейських норм [100] водовідведення є невід'ємною частиною проєктування автомобільних доріг та штучних споруд на них.

В залежності від категорії дороги, умов проходження траси застосовуються: лінійні системи поверхневого водовідведення, прикромочні лотки у поєднанні з закритою мережею водовідведення, ґрунтові канави у підшви насипу з дренажами мілкового чи глибокого залягання. Основною цілю ефективних рішень з влаштування водовідведення є мінімізація забруднень навколишнього середовища забрудненими стоками.

1.3 Аналіз систем лінійного водовідведення

Ефективність роботи системи поверхневого водовідведення залежить від матеріалу, форми та габаритних розмірів. Автомобільна дорога є об'єктом з

підвищеною небезпекою, тому матеріали, які застосовуються для будівництва відповідають вимогам сприймання високих динамічних навантажень. Відповідно до [103] для водовідведення можливе застосування трьох типів матеріалів: залізобетон, полімербетон, фібробетон.

Таблиця 1.3 – Мінімальні вимоги до матеріалів лінійного водовідведення

Характеристика	Полімербетон	Фібробетон	Залізобетон
Стійкість до атмосферних дій (водопоглинання)	-	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
Границя міцності на стиск, Н/мм ²	90	45	45
Границя міцності на згин, Н/мм ²	22	20	20
Клас морозостійкості	F800	F200	F200
Водонепроникність, %	100	100	100
Стан поверхні, мм	0,5	0,5	0,5

Матеріали для влаштування водовідведення на автомобільних дорогах повинні задовольняти вимогам щодо довговічності, стійкості до дії ультрафіолетового випромінювання, стійкості до стирання та старіння.

При збереженні сталих показників габаритних розмірів та матеріалу, вплив на якість водовідведення створює форма каналу. Основними характеристиками форми є змочений периметр та гідравлічний радіус. Найбільш ефективною є форма каналу, яка характеризується найменшим змоченим периметром та найбільшим гідравлічним радіусом. Змочений периметр характеризує втрату швидкості за рахунок збільшення площі впливу коефіцієнта тертя, чим більша сила тертя тим менша швидкість відведення стоків та в результаті загальна пропускна здатність. Поверхневе водовідведення – система для збору та відведення поверхневих стічних вод із улаштуванням відповідних споруд залежно від кліматичних, гідрологічних умов та рельєфу. Ефективність даної характеристики визначається за формулою:

$$Q = \omega \cdot v, \quad (1.17)$$

де Q – витрата в каналі або лотку, м³/с;

ω – площа живого перерізу, м² ;

v – швидкість потоку м/с.

Основною розрахунковою характеристикою для рівномірного руху води в каналах є формула визначення швидкості потоку (рівняння Шезі):

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (1.18)$$

де C – коефіцієнт опору тертя по довжині, визначається за формулою Павловського

R – гідравлічний радіус, м;

i – поздовжній похил, ‰.

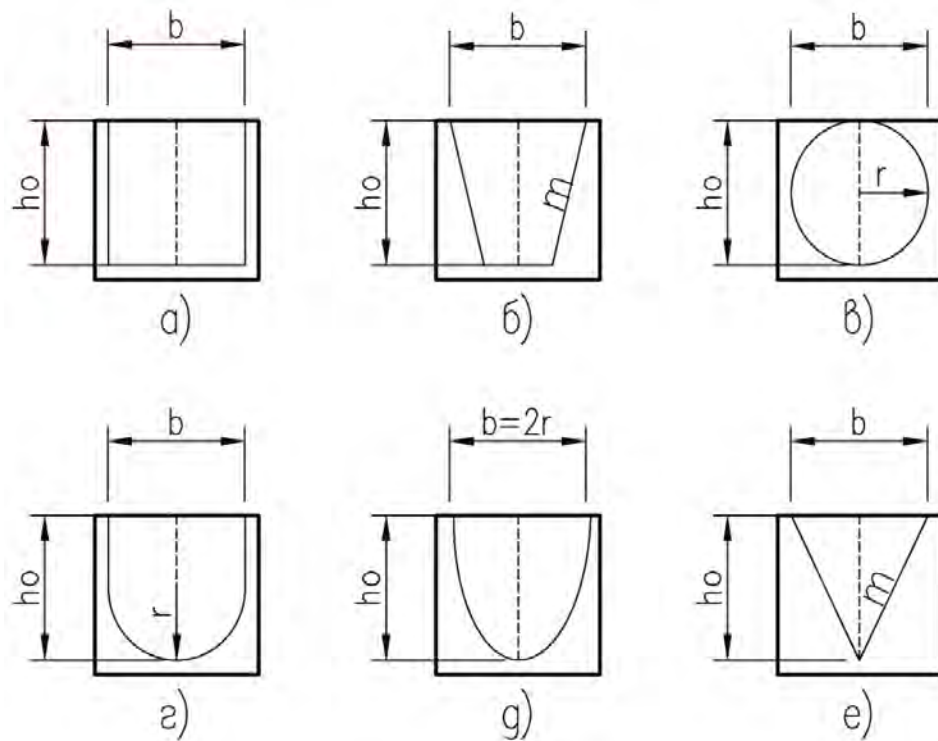
$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (1.19)$$

де y – показник ступеня, який залежить від коефіцієнта шорховатості та гідравлічного радіуса;

n – показник шорховатості стінок водовідвідного каналу.

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1). \quad (1.20)$$

Загалом найпоширенішими рішеннями влаштування поверхневого водовідведення є прямокутна, трапицеїдальна, кругла, U-подібна, V-подібна та трикутна форми.

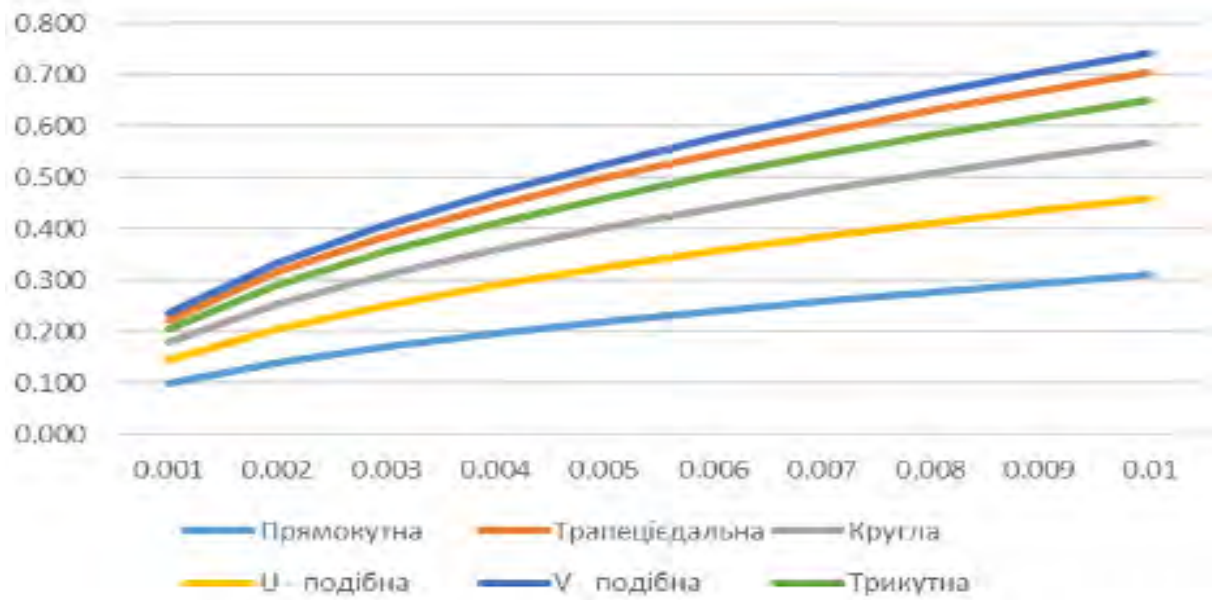


а – прямокутна; б – трапецієдальна; в – кругла; г – U-подібна; д – V-подібна;
е – трикутна

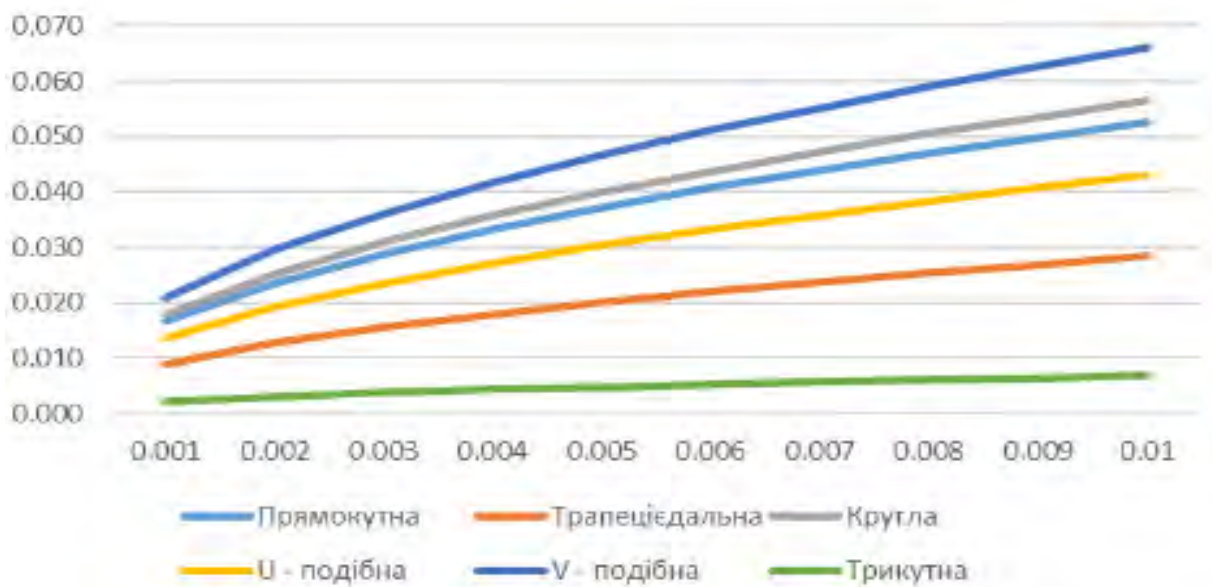
Рисунок 1.9 – Форми гідравлічних перерізів систем поверхневого водовідведення

Таблиця 1.4 – Гідравлічні характеристики форм водовідвідних каналів

Форма каналу	Площа живого перерізу, ω , м ²	Довжина змоченого периметру, ν , м	Гідравлічний радіус, R , м
Прямокутна	$\omega_o = b \cdot h_o$	$\chi_o = b + 2h_o$	$R_o = \frac{b \cdot h_o}{b + 2h_o}$
Трапецієдальна	$\omega_o = (b + mh_o) \cdot h_o$	$\chi_o = b + 2h_o\sqrt{1 + m^2}$	$R_o = \frac{(b + mh_o) \cdot h_o}{b + 2h_o\sqrt{1 + m^2}}$
Кругла	$\omega_o = \pi \cdot r^2$	$\chi_o = 2\pi \cdot r$	$R_o = \frac{r}{2}$
U-подібна	$\omega_o = b \cdot h_o$	$\chi_o = b + 2h_o$	$R_o = \frac{b \cdot h_o}{b + 2h_o}$
V-подібна	$\omega_o = \frac{\pi \cdot r \cdot h_o}{2}$	$\chi_o = 2 \frac{\pi \cdot h_o \cdot r + (h_o - r)^2}{h_o + r}$	$R_o = \frac{\pi \cdot r \cdot h_o (h_o + r)}{2[2h_o \cdot r + (h_o - r)^2]}$
Трикутна	$\omega_o = m \cdot h_o^2$	$\chi_o = 2h_o\sqrt{1 + m^2}$	$R_o = \frac{m \cdot h_o}{2\sqrt{1 + m^2}}$



а)



б)

а – графік швидкостей ; б – графік забезпечення витрати

Рисунок 1.10 – Формування швидкості та пропускної здатності в каналах різної форми та матеріалу водовідвідної системи

Даний розрахунок базувався на умові практично 100 % наповнення робочого перерізу [108, 145]. Як показує аналіз даних рис. 1.10 на ншу думка найбільш раціональна форма каналу є V-подібна.

1.4 Аналіз комплексних рішень для організації водовідведення з автомобільних доріг та штучних споруд

Для мінімізації впливу забрудненого поверхневого стоку з покриття автомобільних доріг рекомендується влаштовувати організований збір відведення і очищення дощового стоку [4, 5, 10, 11, 13, 21, 24, 69, 70, 78, 83, 101, 133, 141, 143, 153]. Стоки з покриття автомобільних доріг забруднені різноманітними матеріалами: матеріали зносу покриття та деталей автомобільного транспорту, нафтопродуктами, важкими металами та залишками антиожедних матеріалів. На вміст забруднюючих речовин у стічних водах з покриття автомобільних доріг впливає інтенсивність транспортного потоку, склад транспортного потоку, вік транспортних засобів, частота та інтенсивність опадів, частота прибирання ділянок автомобільних доріг.

Вибір схеми виконання поверхневого водовідведення та очищення поверхневого стоку визначається якісними та кількісними показниками, а також вимогами до гранично-допустимих концентрацій на скид очищеного стоку. Очисні споруди дощового стоку залежно від вимог скиду та вхідної концентрації стоку застосовуються наступних типів [13]:

- відстійники;
- стаціонарні щитові в акваторії водойми;
- споруди закритого типу.

На автомобільних дорогах найбільш розповсюдженими є 2 типи очисних споруд: ставки-відстійники та локальні очисні споруди закритого типу.

Секційні ставки-відстійники доцільно застосовувати при очищенню стоків від завислих речовин, різноманітного плаваючого сміття та нафтопродуктів. Ступінь очищення стоків від нафтопродуктів у відстійниках досліджена не достатньо за даними [13] становить (80 - 90) %, орієнтовний показник за завислими

речовинами (80 - 95) % в залежності від тривалості відстоювання. Недоліком даних споруд є великі розміри з відповідним відведенням земель.

Локальні очисні споруди (ЛОС) закритого типу, завдяки науково технічному прогресу забезпечують високу ступінь очищення стоків при незначних габаритах. Найбільш поширеними є сепаратори нафтопродуктів з коалесцентними фільтрами з олеофільних матеріалів. Ступінь очищення якими забезпечується на рівні до 92 % за завислими речовинами та (95 - 98) % за нафтопродуктами [127].

Відведення очищених стоків у водойми регулюється правилами приймання стічних вод відповідного населеного пункту чи регіону. Загальнодержавні правила [64] вимагають високу ступінь очищення для відведення стічних вод у водойми, які забезпечити стандартними нафтоуловлювачами не можливо. Тому в комплексі локальних очисних споруд проєктують систему доочищення дощового стоку – сорбційний фільтр, для забезпечення вихідних параметрів за нафтопродуктами при скиді у водойми. Найбільш поширеними природними сорбентами є природні глини бентоніти та палигорськіти; цеоліти : шабазіт, морденіт, кліноптіломіт; неорганічні іоніти, шунгіти, діатоміти, активоване вугілля, неорганічні іоніти: ціркони́лфосфат, синтетичні титано- і ціркано́силікати, важкорозчинний оксалат цирконію, фероціаніди лужних і важких металів та ін [28].

Доочищення стоків є важливим етапом в процесі водовідведення, який дозволяє забезпечувати екологічну безпеку при відновленні водного балансу урбанізованих територій.

Висновки до розділу 1, мета та завдання дослідження

З огляду на вищевикладений матеріал, доцільно сформулювати наступні висновки:

1. Відомі методики гідравлічного розрахунку не доцільно застосовувати при проєктуванні систем поверхневого водовідведення з покриття автомобільних

доріг загального користування. Основні заходи є малоефективними для дощів з невеликою інтенсивністю, стоки з яких є найбільш забрудненими, вони застосовуються для мінімізації впливу аномальних явищ на конструкцію автомобільної дороги в цілому. Елементи водовідведення, які розташовані біля підшви земляного полотна є конструктивним елементом дороги, а не санітарно-технічними заходами.

2. Влаштування водовідвідних споруд біля підшви земляного полотна характеризується двома факторами негативного впливу:

- надмірне зволоження основи земляного полотна, особливо це явище є небезпечним в осінньо-весняний період. Як результат – інфільтрація води і передчасне руйнування дорожнього одягу, яке спричинене зниженням міцності основи;
- забруднення ґрунтового навколишнього середовища продуктами експлуатації автомобільного транспорту та антиожеледними матеріалами.

Величину впливу неефективного водовідведення діючими методиками оцінити не можливо, з ряду причин, які виникають через не відповідність методу проєктування поверхневого водовідведення реальним умовам.

3. Відсутність ефективного методу розрахунку поверхневого водовідведення для лінійних в плані об'єктів суттєво спотворює результати, які впливають не лише на імовірність замокання ґрунту земляного полотна, а і на безпеку учасників дорожнього руху, через надмірну концентрацію опадів на поверхні проїзної частини та утворення явища аквапланування. Недооцінка в розрахунку тривалості дощу та її складових суттєво зменшує розрахункову витрату дощового стоку, яку потрібно ефективно та в найкоротші строки відвести з покриття до локальних очисних споруд, ефективність роботи яких також залежить від тривалості розрахункового дощу.

Питання проєктування водовідведення на автомобільних дорогах загального користування в Україні досліджене недостатньо. Діюча методика для проєктування

мереж дощової каналізації не є об'єктивною для розрахунку поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах. Тому, для мінімізації впливу злив на безпеку автомобільного руху, на строк служби дорожньої конструкції та на забруднення навколишнього середовища, необхідно розробити метод проєктування поверхневого водовідведення з покриття доріг.

Ґрунтуючись на викладеному, **метою дисертаційної роботи є** удосконалення методу проєктування лінійних лоткових каналів поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі завдання:

- виконати аналіз методів проєктування 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.

Основні результати досліджень першого розділу висвітлено в роботах автора [68, 107, 145].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ЛІНІЙНОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПОВЕРХНІ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

2.1 Теоретичні передумови

Проблемами вивчення умов формування дощового стоку з територій водозбірних басейнів, дослідження роботи систем дощового водовідведення та їх розрахунків займалися такі науковці, як М.І. Алексєєв., В.С. Дикаревський, М.М. Белов, А.М. Курганов, В.М. Жук, С.Г. Ткачук, В.Л. Сальчук, О.А. Ткачук, О.В. Шевчук, J.Dziopak, W.James, R.Horton, W.Huder, L.W.Mays, L.A.Rossman, D.Weitman [23, 24, 29, 80, 110 - 116] та інші. Розрахунок систем поверхневого водовідведення здійснюється на основі емпіричних досліджень для труб або відкритих русл водойм. При розрахунку систем поверхневого водовідведення основне значення мають рідкі опади, у вигляді дощів та потребують невідкладного відведення. Відповідно до чинного в Україні нормативного документа [1] час поверхневої концентрації дощового стоку потрібно розраховувати або приймати в населених пунктах за відсутності внутрішньоквартальних закритих дощових мереж таким, що дорівнює 5 - 10 хв, а за їх наявності – 3 - 5 хв. При розрахунку внутрішньоквартальної водовідвідної мережі час поверхневої концентрації стоку рекомендується приймати таким, що дорівнює 2 - 3 хв. Тривалість поверхневої концентрації стоку, відповідає часу утворення поверхневого стоку та добігання дощового стоку до розрахункового перерізу [108].

На відміну від загальноприйнятих умов розрахунку елементів водовідведення з урбанізованих територій міст автомобільні дороги мають особливості стікання та формування максимального стоку. Водопроникність та втрати об'єму стоку на схилах залежать від типу конструкції дорожнього покриття. Штучні поверхні

відведення поверхневого стоку характеризуються як поздовжнім так і поперечним похилом. Поздовжні похили для доріг I - х категорій з максимальними швидкостями руху 110 - 130 км/год становить 1 - 50 ‰ [106] для рівнинних умов будівництва, при цьому поперечні похили автомобільних доріг: проїзної частини – 25 ‰ та узбіччя – 50 ‰, на прямолінійних ділянках.

Визначенню витрати дощового стоку, яка надходить до розрахункового перерізу присвячені роботи радянських та українських вчених [23, 24, 25, 26, 31, 32, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 47, 48, 80, 93, 113, 153, 157, 169] та міжнародні дослідження [22, 33, 35, 38, 51- 63] та ін.

Проте всі дослідження зводяться до емпіричного визначення об'єму стоку розрахункового дощу. Серед залежностей для знаходження часу поверхневої концентрації стоку найвідомішою є формула Абрамова-Шигоріна [44]. Вона отримана для дощів зі спадним степеневим законом зміни інтенсивності в часі:

$$t_{con} = \left(\frac{1,5 \cdot n_m^{0,6} \cdot L_{con}^{0,6} \cdot 166,7^{0,5}}{Z_{mid}^{0,3} \cdot i_{n.kв}^{0,3} \cdot A^{0,5}} \right)^{1/(1-0,5n)}, \quad (2.1)$$

де n_m – коефіцієнт шорсткості покриття басейна стоку;

L_{con} – довжина басейна стоку, м;

$i_{n.kв}$ – похил поверхні басейна стоку, ‰;

A, n – емпіричні коефіцієнти, що описують степеневий закон зміни інтенсивності дощу ($q=A/t_n$) і залежать від кліматичних особливостей регіону;

Z_{mid} – коефіцієнт поверхні басейна стоку.

При визначенні витрати стоку враховувати коефіцієнт поверхні басейну не доцільно. Коефіцієнт поверхні басейну є визначальним для коефіцієнта стоку, як і коефіцієнт шороховатості покриття не доцільно приймати в розрахунок. Вони дають узагальнене поняття, на яку величину зменшиться об'єм стоку від дощу в цілому, а не в одиницю часу.

У закордонній інженерній практиці спеціально для розрахунку часу концентрації плівкового потоку широко використовується формула Овертона-Мідовса [99]:

$$t_{con} = \frac{5,476 \cdot (n_1 \cdot L)^{0,8}}{P_2^{0,5} \cdot i^{0,4}}, \quad (2.2)$$

де n_1 – ефективний коефіцієнт шорсткості поверхні;

L – довжина потоку, м;

P_2 – висота шару опадів 24-годинного дощу з частотою повторюваності 2 роки, мм;

i – геодезичний похил місцевості, м/м [80].

Формули (2.1) та (2.2) описують складову розрахункового дощу, для визначення загального об'єму стоку, а не максимальну секундну витрату.

За методом Ізарда-Гупта [80]:

$$t_{con} = \left(\frac{0,024 \cdot n_h^{1/3} + \frac{878k}{i_h^{2/3}}}{\frac{L^{2/3}}{C^{2/3}} \cdot H^{1/3}} \right), \quad (2.3)$$

де C – коефіцієнт стоку [35, 99];

i_h – інтенсивність випадання дощу за шаром, мм/год;

H – перепад відміток початкового і кінцевого контрольного перерізу, м.

В інженерній практиці України також застосовується метод СНиП 2.05.08-85 «Аеродроми» [94, 95]:

$$t_{con} = \left(\frac{2,41 \cdot n_* \cdot B_{poz}}{\Delta^{0,72} \psi^{0,72} J_{poz}^{0,5}} \right)^{\frac{1}{1,72 - 0,72n}}, \quad (2.4)$$

де n_* – коефіцієнт шороховатості;

$B_{роз}$ – розрахункова ширина площі водозбору, м;

Δ – параметр, рівний інтенсивності однохвилинного дощу прийнятої повторюваності, мм/хв, визначається за формулою (1.7);

Ψ – коефіцієнт стоку;

$J_{роз}$ – розрахунковий похил площі водозбору, ‰.

У всіх вище наведених формулах однією з визначальних характеристик є вплив шорховатості покриття. В основі даної роботи буде виконано дослідження раціонального визначення тривалості поверхневої концентрації стоку.

2.2 Обґрунтування тривалості формування поверхневого стоку

Фактичні умови утворення поверхневого стоку з дорожніх покриттів досліджено недостатньо, оскільки 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.

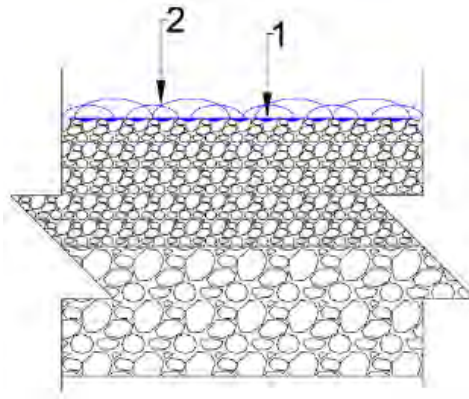
$$t_{con} = t_{зм} + t_d, \quad (2.5)$$

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

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

t_d – тривалість добігання стоку до розрахункового перерізу від найвіддаленішої точки водозбірного басейну.

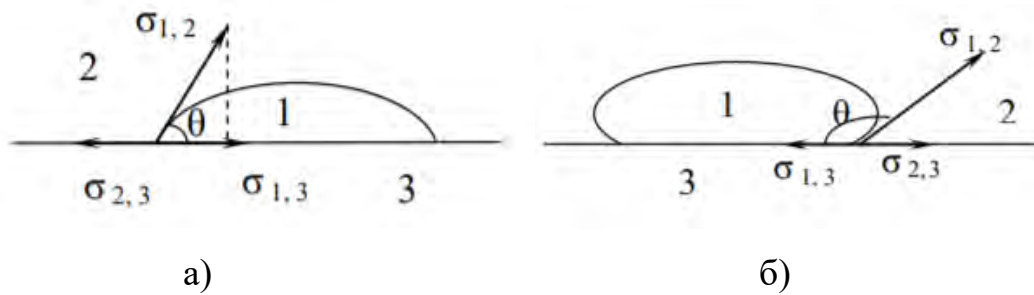
Для визначення тривалості поверхневої концентрації стоку розглянемо, яким чином утворюється рух стоку (рис. 2.1).



1 – заповнення пор; 2 – змочування контактної поверхні

Рисунок 2.1 – Складові тривалості поверхневої концентрації стоку

Однією з характеристик тривалості поверхневої концентрації дощового стоку є змочування поверхні. Мірою змочування є рівноважний кут, який утворює краплини із твердою поверхнею. Його визначають як кут між поверхнею твердою тіла дотичною в точці дотику трьох фаз (рис. 2.2) [108].



а)

б)

а – ефективне змочування; б – неякісне змочування

Рисунок 2.2 – Змочування і крайовий кут

Змочування рідиною твердого тіла можна представити як результат дії сил поверхневого натягу. Периметр змочування є межею взаємодії трьох фаз: тверде тіло (3), рідина (1), газ (2). Рівняння рівноваги, або рівняння Юнга (2.6) при утворенні крайового кута [7, 118]:

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{1-3} - \sigma_{1-2}}{\sigma_{2-3}}, \quad (2.6)$$

де σ_{1-3} , σ_{1-2} , σ_{2-3} – поверхневі натяги відповідно на межі тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина, рідина – газ.

Тверда поверхня краще змочується рідиною, коли менші сили зчеплення між її молекулами, тобто когезія і чим більші сили прилипання до поверхні твердого тіла – адгезія. Критерій змочування можна визначити через роботу адгезії і роботу когезії. Для системи тверде тіло – газ робота адгезії має вигляд:

$$W_a = \sigma_{1-3} + \sigma_{2-3} - \sigma_{1-2}, \quad (2.7)$$

де $\sigma_{2-3} \cdot \cos\theta = \sigma_{1-3} - \sigma_{1-2}$, рівняння (2.7) можна виразити у вигляді:

$$W_a = \sigma_{2-3} + \sigma_{2-3} \cdot \cos\theta = \sigma_{2-3}(1 + \cos\theta). \quad (2.8)$$

Рівняння (2.8) – це рівняння Дюпре-Юнга. Оскільки $W_c = 2 \cdot \sigma_{2-3}$, то

$$\cos\theta = \frac{W_a - \sigma_{2-3}}{\sigma_{2-3}} = \frac{2W_a - W_c}{W_c}. \quad (2.9)$$

Змочування поверхні характеризується співвідношенням адгезії рідини з покриттям до її когезії. Тому, тривалість часу на змочування покриття доцільно визначити з умови, при якій товщині шару стоку на поверхні буде здійснюватися рух. Утворення поверхневого стоку характеризується умовою, коли рідина накопичена на поверхні, але рух стоків, відсутній – початкові умови. Розглянемо сили, які діють на рідину в момент руху по покриттю (рис. 2.3).

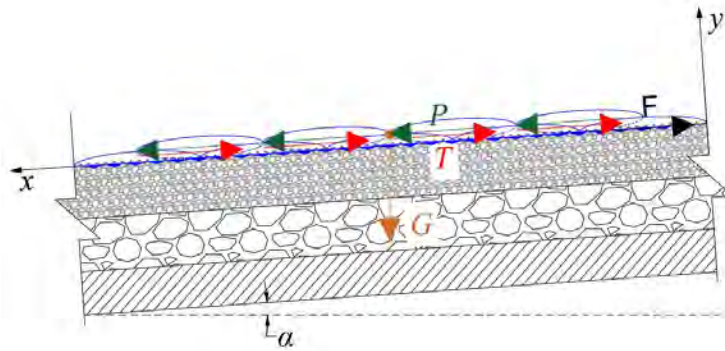


Рисунок 2.3 – До визначення рівняння руху рідини на поверхні

Під час руху рідини по похилому покриттю на нього діють сила тяжіння, сила реакції площини та сила тертя. У відповідності з другим законом Ньютона рівняння руху має вигляд (2.10):

$$G - T + P = F, \quad (2.10)$$

де G – сила тяжіння, Н;

T – сила в'язкості, Н;

P – сила пружності, Н;

F – сила протидії руху рідини по покриттю, Н.

Рух елементарного об'єму, відбувається під дією прикладених сил і сил інерції. Тоді диференціальне рівняння його руху має вигляд:

$$\gamma \frac{\partial U}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 U}{\partial h^2}, \quad (2.11)$$

де γ – щільність рідини, кг/м^3 ;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини.

Якщо в лівій частині (2.11) для елементарного (одиничного) об'єму ми маємо:

$$m \cdot a = F, \quad (2.12)$$

то у правій частині (2.11) повинна бути сила або напруження (сила, яка діє на одиницю площі поверхні елементарного об'єму), що визначається за формулою:

$$\tau = Mk \frac{\partial U}{\partial z} = \mu \frac{\partial U}{\partial z}. \quad (2.13)$$

Для визначення походження похідної другого порядку у правій частині виразу (2.11), розглянемо основні рівняння гідродинаміки Нав'є-Стокса [191] (2.14) – (2.16) та умову нерозривності (2.17) [117]:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (2.14)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (2.15)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (2.17)$$

де ρ – густина;

X, Y, Z – складові зовнішніх сил;

p – тиск;

u, v, w – складові швидкості.

Для в'язких рідин дією сили тяжіння та зміною тиску нехтують [117], тому:

$$X = Y = Z = 0, \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0. \quad (2.19)$$

У випадку неусталеного руху в рідині лише вздовж деякої прямої швидкості будуть мати складову лише в напрямку цієї прямої. Приймаючи її напрямок за вісь X , а перпендикуляр – за вісь Y для:

$$u = u(y, t), \quad (2.20)$$

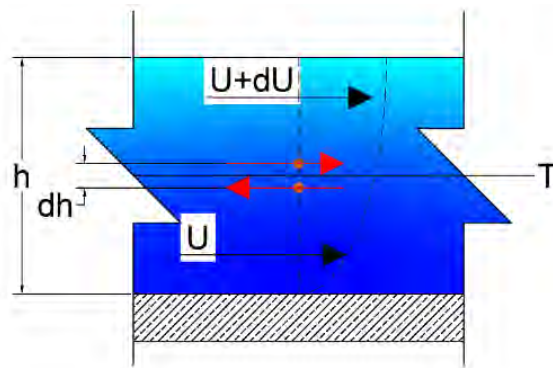
отримують просте диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial h^2}, \quad (2.21)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2.22)$$

Момент руху дощового стоку буде відбуватись при певній величині стоку на поверхні. Отже, при русі сила опору тертя буде визначатись між змоченою поверхнею та стоком [7, 36] (рис. 2.4).



T – опір зсуву, в'язкість, внутрішньо молекулярна взаємодія, яка перешкоджає руху між двома шарами рідини; U – швидкість нижнього шару; $U+dU$ – швидкість верхнього шару

Рисунок 2.4 – Схема відносного руху шарів рідини

Зміна шару стоку відбувається з часом, тому сила тертя між шарами рідини матиме вигляд:

$$T = \mu \cdot S \cdot \frac{dl}{dt}, \quad (2.23)$$

де S – площа тертя, м^2 .

З урахуванням (2.22) сила в'язкості набуває вигляду:

$$T = \rho \cdot v \cdot S \cdot \frac{dl}{dt}. \quad (2.24)$$

Силу тяжіння представимо у вигляді:

$$G = m \cdot g. \quad (2.25)$$

Проекції сили тяжіння на осі мають вигляд:

$$G_h = m \cdot \sin \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2}, \quad (2.26)$$

$$G_v = m \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2}, \quad (2.27)$$

де α – похил покриття, град.;

m – маса рідини, кг.

Та складова сили пружності:

$$P = A \cdot l, \quad (2.28)$$

де A – жорсткість рідини, Н/м;

l – переміщення рідини, м.

Підставивши (2.24-2.28) в (2.10) отримаємо:

$$m \cdot \sin \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} + m \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} - \rho \cdot v \cdot S \cdot \frac{dl}{dt} + A \cdot l = F, \quad (2.29)$$

$$F = \text{const.}$$

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

$$m \cdot \sin \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} + m \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d^2 l}{dt^2} - \frac{v \cdot m}{h} \cdot \frac{dl}{dt} + A \cdot l = F. \quad (2.30)$$

Після перетворень, рівняння (2.30) набуває вигляду:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \cdot \frac{dl}{dt} + k^2 l = F_1, \quad (2.31)$$

де

$$-\frac{v}{2 \cdot h(\cos \alpha + \sin \alpha)} = n. \quad (2.32)$$

$$\sqrt{\frac{A}{m \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha)}} = k. \quad (2.33)$$

$$\frac{F}{m \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha)} = F_1. \quad (2.34)$$

З початковими умовами:

$$l(0) = 0, \frac{dl}{dt}(0) = V_0. \quad (2.35)$$

Рівняння (2.31) є лінійним неоднорідним рівнянням другого порядку із сталими коефіцієнтами. Загальний розв'язок цього рівняння:

$$l = u + l_1, \quad (2.36)$$

де u – загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння;

l_1 – будь-який частинний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння.

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння має вигляд (2.36):

$$l = C_1 \cdot e^{r_1 t} + C_2 \cdot e^{r_2 t} + \frac{U}{k^2}. \quad (2.37)$$

Сталі C_1, C_2 визначаємо з початкових умов (2.35):

$$C_1 = \frac{r_2 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w}. \quad (2.38)$$

$$C_2 = \frac{r_1 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w}. \quad (2.39)$$

Підставимо знайдені значення C_1, C_2 , вигляду (2.38) та (2.39) в загальний розв'язок (2.37) та запишемо розв'язок з початковими умовами (2.35):

$$l = \frac{r_2 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w} \cdot e^{r_1 t} + \frac{r_1 \left(l_0 - \frac{F_1}{k^2} \right) - V_0}{2w} \cdot e^{r_2 t} + \frac{U}{k^2}. \quad (2.40)$$

При змінній інтенсивності дощу:

$$F_1 = \phi \cdot t, \quad (2.41)$$

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

t – тривалість дощу, с.

З урахуванням (2.32), (2.33), (2.41) рівняння (2.29) та після перетворень можна подати у вигляді:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \cdot \frac{dl}{dt} + k^2 \cdot l = \alpha \cdot t. \quad (2.42)$$

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

$$l(0) = 0, \frac{dl}{dt}(0) = 0. \quad (2.43)$$

Загальний розв'язок лінійного неоднорідного диференціального рівняння (2.42) матиме вигляд:

$$l = u + l_1, \quad (2.44)$$

Характеристичне рівняння відповідного однорідного рівняння має вигляд (2.45):

$$r^2 + 2nr + k^2 = 0. \quad (2.45)$$

$$n^2 - k^2 \leq 0. \quad (2.46)$$

Оскільки в'язкі властивості значно менші за пружні, то розв'язком однорідного рівняння є функція:

$$u = e^{-nt}(C_3 \cos w_1 t + C_4 \sin w_1 t), \quad (2.47)$$

де C_3, C_4 – довільні сталі, що визначаються з початкових умов (2.43);

r_1, r_2 , – розв’язки характеристичного рівняння відповідного однорідного рівняння.

Частинний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння має вигляд:

$$l_1 = \frac{q}{k^2}t - 2n \frac{q}{k^4}. \quad (2.48)$$

Загальний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд:

$$l = e^{-nt}(C_3 \cos w_1 t + C_4 \sin w_1 t) + \frac{q}{k^2}t - 2n \frac{q}{k^4}. \quad (2.49)$$

Сталі C_3, C_4 знаходимо з початкових умов (2.43):

$$C_3 = 2n \cdot \frac{q}{k^4}. \quad (2.50)$$

$$C_4 = \frac{V_0 + 2n^2 \cdot \frac{q}{k^4}}{w}, \quad (2.51)$$

де

$$w^2 = n^2 - k^2. \quad (2.52)$$

Частинний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння (2.42), що задовольняє початковим умовам (2.43), має вигляд:

$$l = e^{-nt} \left(2n \cdot \frac{q}{k^4} \cos w_1 t + \frac{V_0 + 2n^2 \cdot \frac{q}{k^4}}{w} \sin w_1 t \right) + \frac{q}{k^2}t - 2n \frac{q}{k^4}. \quad (2.53)$$

Розглянемо випадок, коли пружні властивості переважають в’язкі. В цьому випадку загальний розв’язок неоднорідного рівняння (2.31) має вигляд:

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos w_1 t + C_2 \sin w_1 t) + \frac{F_1}{k^2}, \quad (2.54)$$

де

$$w_1^2 = k^2 - n^2, \quad (2.55)$$

$$C_5 = l_o - \frac{F_1}{k^2}, \quad (2.56)$$

$$C_6 = \frac{V_o + n(l_o - \frac{F_1}{k^2})}{w}. \quad (2.57)$$

Встановлено, що приведене диференціальне рівняння другого порядку із сталими коефіцієнтами являє собою рівняння затухаючих лінійних коливань та в залежності від співвідношення коефіцієнтів, що входять до його складу, може мати наступні розв'язки:

При умові $n^2 - k^2 < 0$ мають місце затухаючі коливання. Загальний розв'язок рівняння (2.58)

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2 l = 0 \quad (2.58)$$

має вигляд:

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos w_1 t + C_2 \sin w_1 t), \quad (2.59)$$

$$w_1^2 = n^2 - k^2, \quad (2.60)$$

де C_3, C_4 – довільні сталі, що визначаються з початкових умов (2.35).

Частинний розв'язок диференціального рівняння (2.58), що задовольняє початковим умовам (2.35), має вигляд:

$$l = \frac{V_0}{w_1} e^{-nt} \sin w_1 t. \quad (2.61)$$

При умові $n^2 - k^2 > 0$ має місце аперіодичний рух. Загальний розв'язок рівняння (2.58) має вигляд:

$$l = C_3 e^{\alpha_1 t} + C_4 e^{\alpha_2 t}, \quad (2.62)$$

$$\alpha_1 = -n + w_2, \quad (2.63)$$

$$\alpha_2 = -n - w_2, \quad (2.64)$$

$$w_2^2 = n^2 - k^2. \quad (2.65)$$

Частинний розв'язок диференціального рівняння (2.58), що задовольняє початковим умовам (2.35), має вигляд:

$$l = \frac{V_0}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_1 t} - \frac{V_0}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_2 t}. \quad (2.66)$$

У випадку, коли в'язкі властивості значно перевищують пружні $n \gg k$, впливом пружних характеристик можна знехтувати, розв'язок має вигляд:

$$l = C_3 + C_4 e^{-nt}, \quad (2.67)$$

$$l = \frac{V_0}{2n} (1 - e^{-2nt}) = \frac{V_0 \cdot m}{c} \left(1 - e^{-\frac{c}{m}t}\right). \quad (2.68)$$

При умові $n^2 - k^2 = 0$ теж має місце аперіодичний рух. Загальний розв'язок рівняння (2.58) має вигляд:

$$l = e^{-nt}(C_5 + C_6 t), \quad (2.69)$$

де C_5, C_6 – довільні сталі, що визначаються з початкових умов (2.35).

Частинний розв'язок диференціального рівняння (2.58), що задовольняє початковим умовам (2.35), має вигляд:

$$l = V_0 e^{-nt}. \quad (2.70)$$

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, отриману з результатів експериментальних досліджень, та побудовано диференціальне рівняння, для якого ця функція є розв'язком.

Досліджувана функція руху поверхневого стоку від часу має вигляд:

$$l = Q e^{-kt}. \quad (2.71)$$

Встановлено, що ця функція є розв'язком лінійного однорідного рівняння другого порядку із сталими коефіцієнтами:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + k \frac{dy}{dt} = 0 \quad (2.72)$$

при початкових умовах:

$$y(0) = Q; \frac{dy}{dt}(0) = -kQ. \quad (2.73)$$

Загальний інтеграл цього рівняння має вигляд:

$$y = C_1 y_1 + C_2 y_2, \quad (2.74)$$

де y_1, y_2 – лінійно незалежні частинні розв’язки рівняння (2.72);

C_1, C_2 – довільні сталі, що визначаються з початкових умов (2.73).

Складаємо характеристичне рівняння:

$$r^2 + kr = 0. \quad (2.75)$$

Корені цього рівняння дійсні та різні, тому загальний розв’язок диференціального рівняння (2.72) має вигляд:

$$y = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}, \quad (2.76)$$

або

$$y = C_1 + C_2 e^{-kt}. \quad (2.77)$$

Довільні сталі C_1, C_2 знаходимо з початкових умов (2.73):

$$C_1 = 0; C_2 = Q. \quad (2.78)$$

Тоді частковий розв’язок однорідного диференціального рівняння (2.72), що задовольняє початковим умовам (2.73) матиме вигляд (2.71). З вищевикладеного випливає, що функція (2.71) є розв’язком лінійного однорідного диференціального рівняння другого порядку із сталими коефіцієнтами:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + k \frac{dl}{dt} = 0 \quad (2.79)$$

з початковими умовами:

$$l(0) = Q; \frac{dl}{dt}(0) = -kQ, \quad (2.80)$$

$$k = \frac{c}{m} \cdot i, \quad (2.81)$$

$$T_{\phi} = \frac{B}{Qe^{-kt}}, \quad (2.82)$$

де c – коефіцієнт пружності, Па;

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

i – розрахунковий похил водозбірної ділянки, ‰;

t – тривалість дощу, с;

T_{ϕ} – тривалість формування поверхневої концентрації стоку, с;

B – розрахункова ширина водозбрного басейну, мм;

Q – інтенсивність опадів, мм/с.

Формула (2.82) є результатом дослідження та характеризує переміщення стоку під дією зовнішніх сил та враховує тривалість процесу змочення покриття та руху стоку з урахуванням сили тертя рідини.

З використанням формули (2.82) побудовано графік (рис. 2.5) зміни положення елементарного об'єму стоку з часом при різних розрахунковій інтенсивності при умові виконання поперечного профілю, згідно вимог [106].

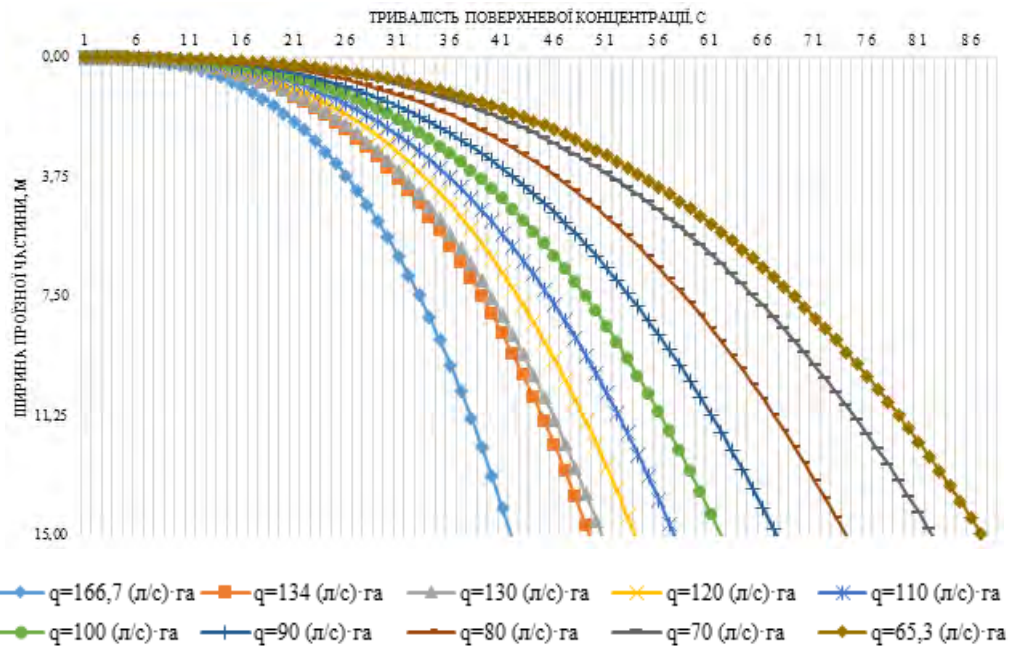


Рисунок 2.5 – Тривалість поверхневої концентрації стоку при зміні його інтенсивності

Результати досліджень показують, що тривалість формування поверхневого стоку з покриття лінійних у плані водозбірних басейнів має суттєві відмінності від традиційних розрахунків регламентованих [1]. Результати відхилень при інтенсивності 65,3 (л/с)·га – 134 (л/с)·га та значеннях тривалості поверхневої концентрації стоку прийнятої відповідно до вимог [1] 2, 3, 5, 10 хв (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Відхилення результатів у відсотках при значеннях тривалості поверхневої концентрації стоку прийнятої за ДБН В.2.5-75:2013

Отримані дані дійсні для періоду одноразового перевищення розрахункового дощу рівного 1.

2.3 Визначення розрахункових параметрів лінійного в плані водозбірного басейну

В основу гідравлічного розрахунку покладено, що рух стоків прямопропорційно залежить від похилу [1]. Фактично автори відомих методик розрахунку поверхневої концентрації стоку [35, 44, 80, 99] використовують поперечний похил. Застосування поперечного похилу в розрахунку поверхневої концентрації стоку для лінійних систем поверхневого водовідведення з лінійних у плані водозбірних басейнів не відповідає дійсності. Зокрема в розрахунках застосовуються параметри: i – поперечний похил лінійних у плані водозбірних басейнів, ‰; b – шлях стоку, м (рис. 2.7).

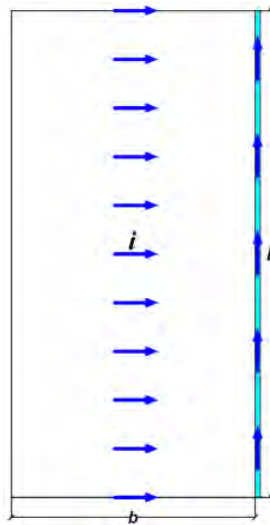


Рисунок 2.7 – Типова схема руху поверхневих стоків

Дана методика являється дієвою при умові відсутності на автомобільній дорозі поздовжнього похилу (рис. 2.8).

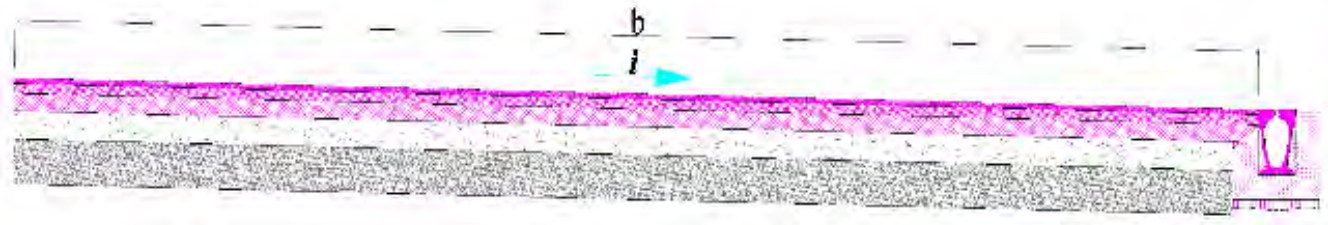


Рисунок 2.8 – Поперечний розріз проїзної частини з водовідвідним каналом

Також дана вимога повністю унеможлиблює влаштування водовідведення [107].

Для визначення розрахункового похилу та розрахункової ширини площі водозбірного басейну з автомобільної дороги розглянемо елементарну ділянку шириною – b , довжиною – L . Відтворимо дану ділянку автомобільної дороги в декартовій системі координат у вигляді елементарного прямокутника $ABCD$ (рис. 2.9).

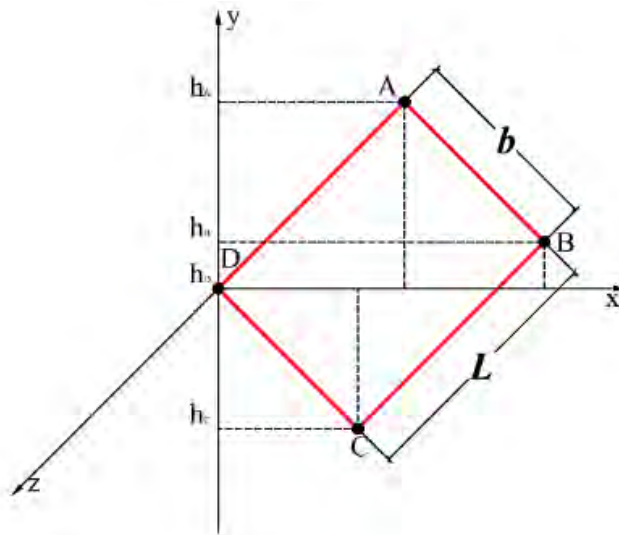


Рисунок 2.9 – Елементарна ділянка в декартовій системі координат

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 рис. 2.10.

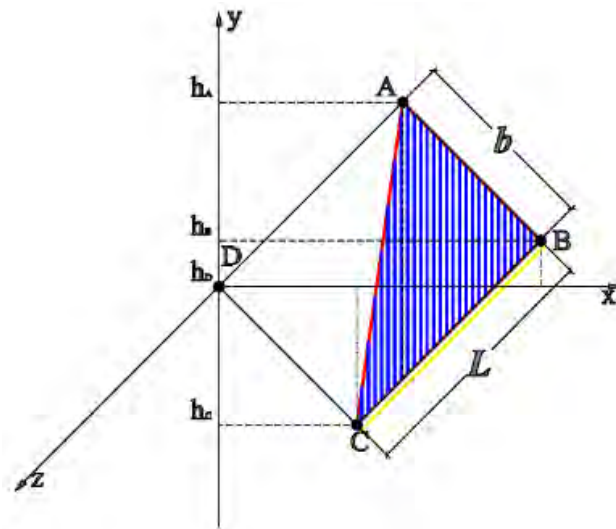


Рисунок 2.10 – Розрахунковий діапазон

Розглянемо прямокутний трикутник ABC , в якому гіпотенуза AC – довжина розрахункової ширина водозбірного басейну лінійної форми. Враховуючи, що b – це ширина проїзної частини автомобільної дороги [106], та величина стала:

$$b = const, \quad (2.83)$$

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

Поперечний похил проїзної частини, на прямолінійних ділянках автомобільних доріг:

$$i_{\text{поп}} = const. \quad (2.84)$$

При умові, що водовідвідний канал розташовано на ділянці BC , визначимо за теоремою Піфагора розрахунковий похил з автомобільної дороги до водовідвідного каналу (рис. 2.11):

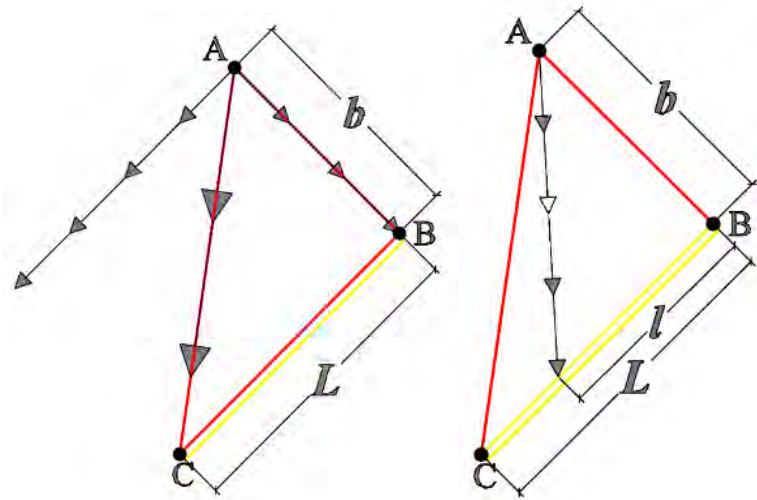


Рисунок 2.11 – Схеми до визначення розрахункової ширина ділянки

$$i_{\text{роз}} = \sqrt{i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{пов}}^2}. \quad (2.85)$$

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

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

Аналогічно в методиці проєктування поверхневого водовідведення для аеропортів [94, 95] застосовується формула визначення розрахункового похилу.

Величина добігання стоку з найвіддаленішої ділянки лінійного в плані водозбірного басейну з сталою шириною та сталим поперечним похилом матиме залежність від співвідношення поздовжнього до поперечного похилів:

$$l = \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) \cdot b, \quad (2.86)$$

де l – поздовжнє зміщення стоку, м.

Враховуючи (2.86) маємо два сектори визначення довжини добігання дощового стоку до водозбірного каналу (рис. 2.12).

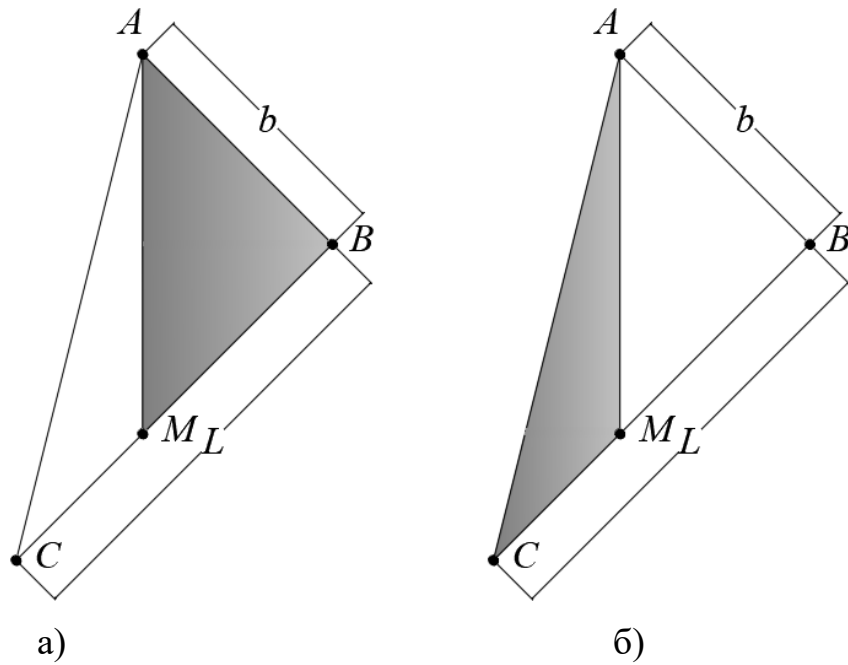


Рисунок 2.12 – Схеми до визначення розрахункового похилу

Сектор ABM буде розрахунковим при умові:

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}}\right) \leq 1, \quad (2.87)$$

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

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}}\right) > 1. \quad (2.88)$$

Отже, величина добігання від найвіддаленішої точки лінійної за формою площі водозбору до водозбірного каналу, тобто ширина водозбірного басейну буде:

$$B_{\text{роз}} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \cdot b\right)^2}. \quad (2.89)$$

Визначення параметру розрахункова ширина (2.89) для гідравлічного розрахунку систем поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах запропоновано вперше.

З урахуванням основних вимог [106] та додаткових умов виконано розрахунок зміни розрахункової відстані добігання дощового стоку, при умові ширини проїзної частини в одному напрямку – 7,50 м (рис. 2.13).

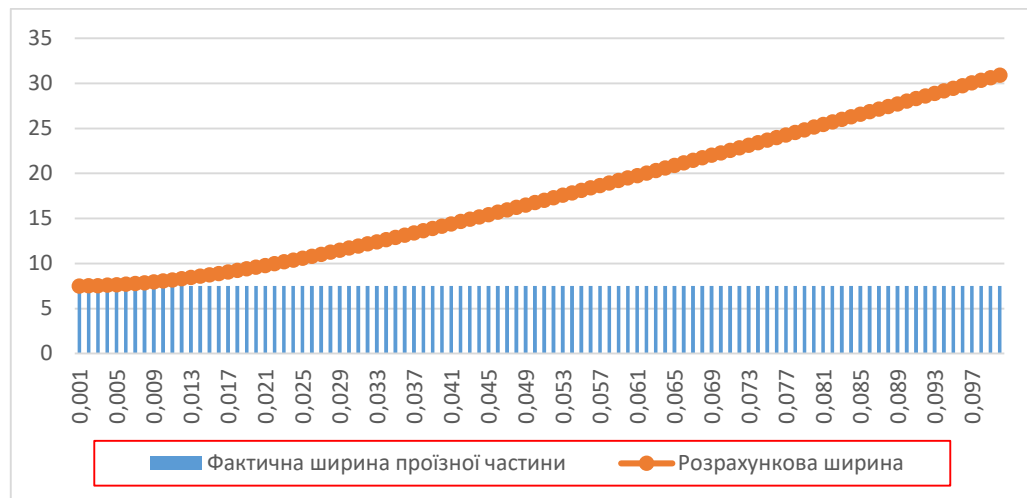


Рисунок 2.13 – Відмінність між фактичними та розрахунковими показниками

Відповідно до отриманих результатів (рис. 2.13) геометричні параметри в розрахунках можуть бути недооцінені, а саме при збільшенні поздовжнього похилу збільшується розрахункова ширина, отже і розрахункова площа змінюється відповідно. Врахування при гідравлічних розрахунках поздовжнього похилу, або похідних параметрів, які визначаються за формулами (2.85) та (2.89) дозволяє підвищити точність розрахунків. Фактично, при проектуванні автомобільних доріг повній відповідності основним вимогам [106], існує імовірність недооцінення основних розрахункових показників, рисунки 2.14 – 2.17:

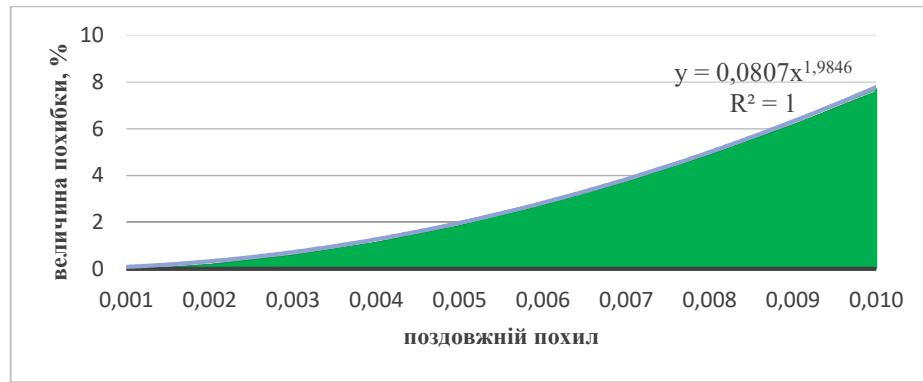


Рисунок 2.14 – Зміна похибки в залежності від поздовжнього похилу (0-10 ‰)

Дані на рис. 2.14 характеризують залежність похибки при гідравлічних розрахунках у геометричних параметрах лінійного в плані водозбірного басейну та описує зміну збільшення похибки від зміни поздовжнього похилу в діапазоні 0,001 – 0,01 – ділянка №1. Значення похибок в даному діапазоні змінюється за степеневою функцією.

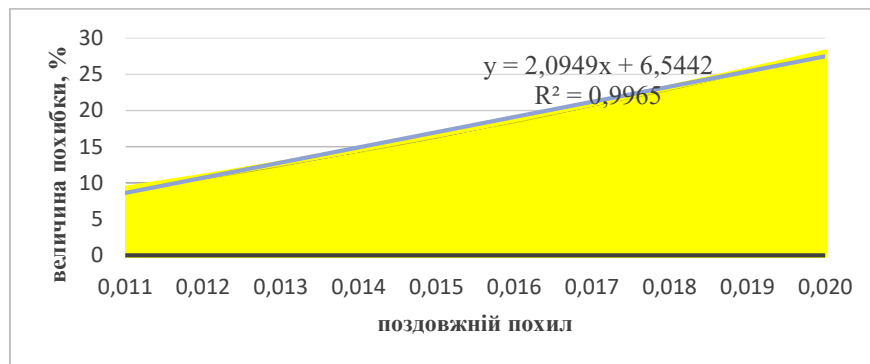


Рисунок 2.15 – Зміна похибки в залежності від поздовжнього похилу (10-20 ‰)

Дані на рис. 2.15 характеризують залежність похибки при гідравлічних розрахунках у геометричних параметрах лінійного в плані водозбірного басейну та описує зміну збільшення похибки від зміни поздовжнього похилу в діапазоні 0,01 – 0,02 – ділянка №2. Значення похибок в даному діапазоні змінюється за лінійною залежністю.

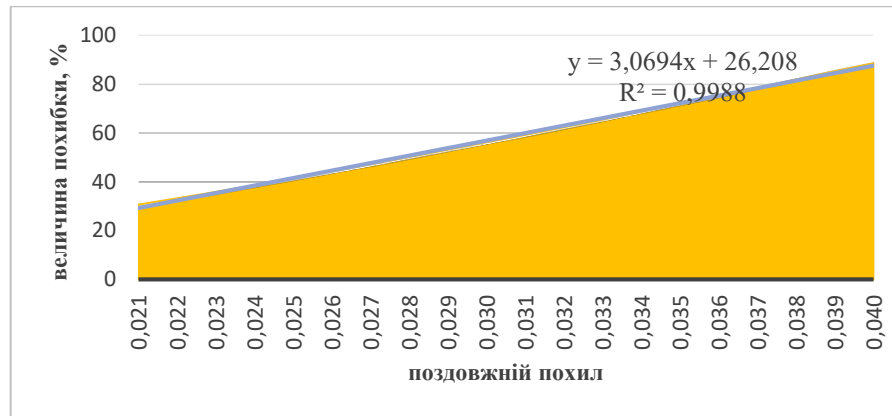


Рисунок 2.16 – Зміна похибки в залежності від поздовжнього похилу (20-40 ‰)

Дані на рис. 2.16 характеризують залежність похибки при гідравлічних розрахунках у геометричних параметрах лінійного в плані водозбірного басейну та описує зміну збільшення похибки від зміни поздовжнього похилу в діапазоні 0,02 – 0,04 – ділянка №3. Значення похибок в даному діапазоні змінюється за лінійною залежністю.

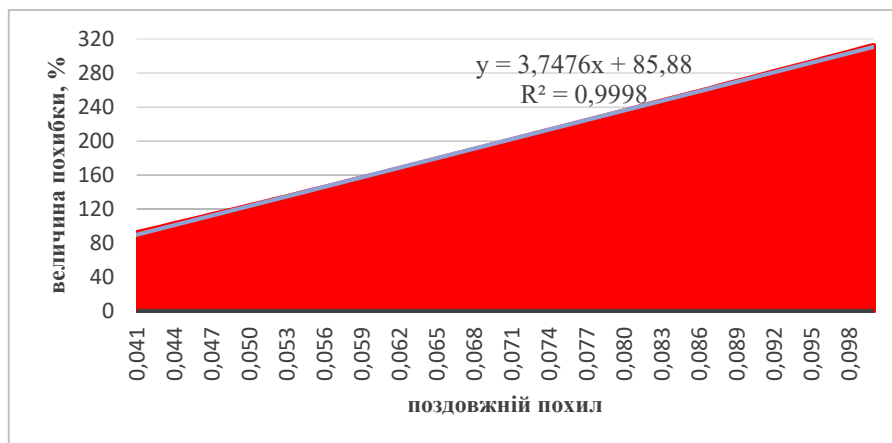


Рисунок 2.17 – Зміна похибки в залежності від поздовжнього похилу (40-100 ‰)

Дані на рис. 2.17 характеризують залежність похибки при гідравлічних розрахунках у геометричних параметрах лінійного в плані водозбірного басейну та описує зміну збільшення похибки від зміни поздовжнього похилу в діапазоні 0,04 – 0,1 – ділянка №4. Значення похибок в даному діапазоні змінюється за лінійною

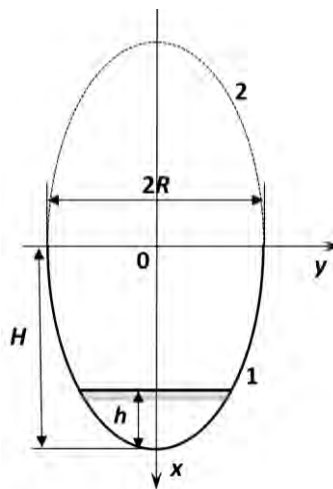
залежністю. Даний діапазон не є характерним для доріг перших категорій в рівнинній місцевості.

Загальна залежність похибки значень прийнятих в розрахунках характеризується лінійною залежністю, за винятком ділянки №1, яка характеризується степеневою залежністю.

Графіки на рис. 2.14 – 2.17 характеризують залежність погрішності прийнятих значень у розрахунках, у відсотках для автомобільних доріг від однієї смуги руху до чотирьох в одному напрямку.

2.4 Обґрунтування ефективної геометричної форми каналу при роботі не повним перерізом

Переріз водовідвідного каналу (рис. 2.18, позначення – 1) з високою точністю можна апроксимувати двовимірною кривою, яка в межах введених координат приводить до формули виду (2.90).



1 – переріз каналу; 2 – переріз еліпсу

Рисунок 2.18 – Геометричний переріз водовідвідного каналу

Рівняння (2.90) є рівнянням еліпсу, побудована частина якого на рис 2.17 позначена цифрою 2.

$$\left(\frac{x}{H}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 = 1, \quad (2.90)$$

де H – велика напіввісь еліпса, м;

R

– мала напіввісь еліпса, м.

$$a = H, \quad (2.91)$$

$$b = R. \quad (2.92)$$

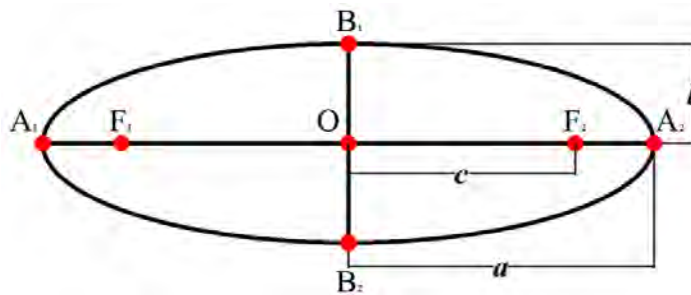


Рисунок 2.19 – До визначення форми водовідвідного каналу

Ексцентриситет еліпса визначається за формулою (2.91):

$$e = \frac{c}{a}, \quad (2.91)$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a}, \quad (2.92)$$

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{R}{H}\right)^2}, \quad (2.93)$$

$$e = \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (2.94)$$

Параметри каналу при максимальній пропускній здатності. Це буде при умові, що вся нижня половина еліпса повністю заповнена водою, тобто, коли рівень заповнення каналу водою:

$$h = H, \quad (2.95)$$

де h – наповнення водовідвідного лоткового каналу, м.

Для цього випадку довжину контуру L змочуваної частини каналу визначаємо виключно через параметри R та H за формулою (2.96) з точністю, не менше 0,63 %:

$$L = 2 \cdot \frac{\pi HR + (H-R)^2}{H+R}, \quad (2.96)$$

де L – довжина контуру змочуваної частини каналу, м.

Робочий переріз – величину заповненого водою перерізу S каналу (половина площі еліпса), визначаємо:

$$S = \frac{\pi HR}{2}, \quad (2.97)$$

де S – площа живого перерізу, м².

Змочений периметр при частково заповненому каналі. Якщо рівень води в каналі нижче максимального:

$$h < H, \quad (2.98)$$

то в цьому випадку точно визначається переріз обводненої частини каналу:

$$S_h = HR \left\{ \arccos \left(1 - \frac{h}{H} \right) - \left(1 - \frac{h}{H} \right) \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{h}{H} \right)^2} \right\}. \quad (2.99)$$

Значення кута від функції $\arccos$ приймається в радіанах і змінюється від 0 до $\pi/2$. Визначення довжини контура 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 $H \dots 0,1 \cdot H$:

$$L_h = 2 \cdot \left\{ \frac{\pi H R + (H - R)^2}{H + R} - (H - h) \cdot \sqrt{1 + \frac{R}{H} \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2} \right\}. \quad (2.100)$$

Формули (2.99) та (2.100) 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.

2.5 Обґрунтування ефективності застосування лінійного поверхневого водовідведення

Питання водовідведення з покриття автомобільних доріг в інженерній практиці України не повністю вирішене. Фактично поверхневе водовідведення на автомобільній дорозі є складовою комплексу з очищення забрудненого поверхневого стоку. Лише при заміні традиційних рішень на сучасні можливо досягти високих показників у вирішенні питань:

- зменшення величини поперечного профілю, за рахунок відсутності потреби у влаштуванні кювету чи відкритого лотка;
- зниження забруднення укосів земляного полотна та інфільтрації забрудненого поверхневого стоку при потраплянні на водопроникну поверхню;

- підвищення ефективності очищення стічних вод, найбільш забрудненими є перші порції поверхневого стоку, але при потраплянні їх в кювет саме вони будуть максимально всмоктуватись в ґрунт;
- водовідведення з покриття та унеможливлення потрапляння поверхневого стоку в основу дорожнього одягу, що забезпечує міцність конструкції;
- збільшення розрахункового строку експлуатації порівняно з традиційними рішеннями.

Під час будівництва автомобільної дороги у насипі, застосування лінійного поверхневого водовідведення у вигляді каналів з решітками дає можливість зменшити величину поперечного профілю автомобільної дороги за рахунок відсутності потреби у влаштуванні канав (рис. 2.20, рис. 2.21) [1, 77].

Зокрема, застосування водовідвідних каналів впливає на (рис. 2.21):

- відсутність потреби у використанні бордюрного каменю;
- мінімізація ризиків пов'язаних з зволоженням дорожньої конструкції поверхневими стоками ;
- унеможливлення забруднення навколишнього середовища стоками;
- зменшення тривалості знаходження стоку на покритті і, як наслідок, зниження можливості виникнення аквапланування.

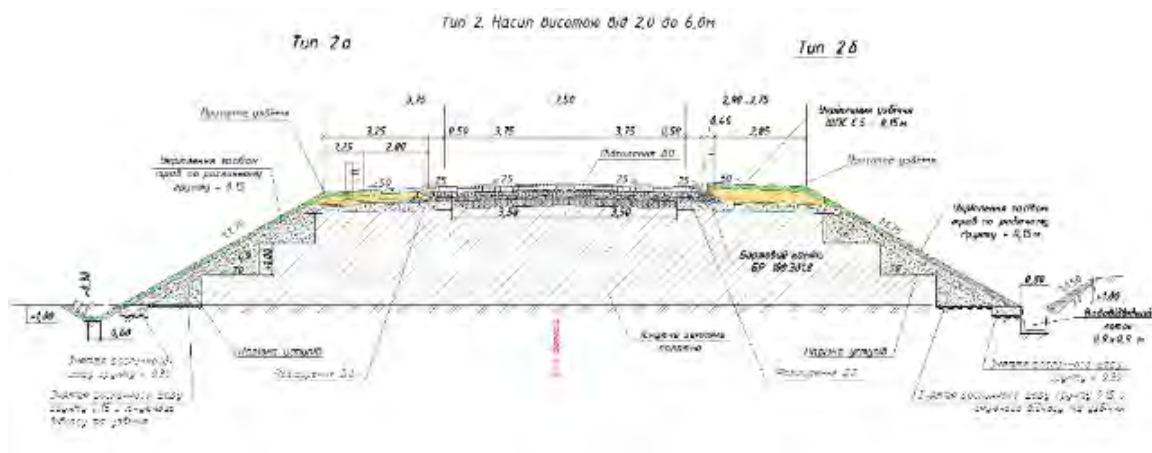


Рисунок 2.20 – Типовий поперечний профіль автомобільної дороги (II категорія)



Рисунок 2.24 – Питома вага видів транспорту в перевезенні вантажів у 2018 році

Згідно із статистичними даними вантажообіг на автомобільному транспорті 24 010,2 млн ткм [119] (рис. 2.25).

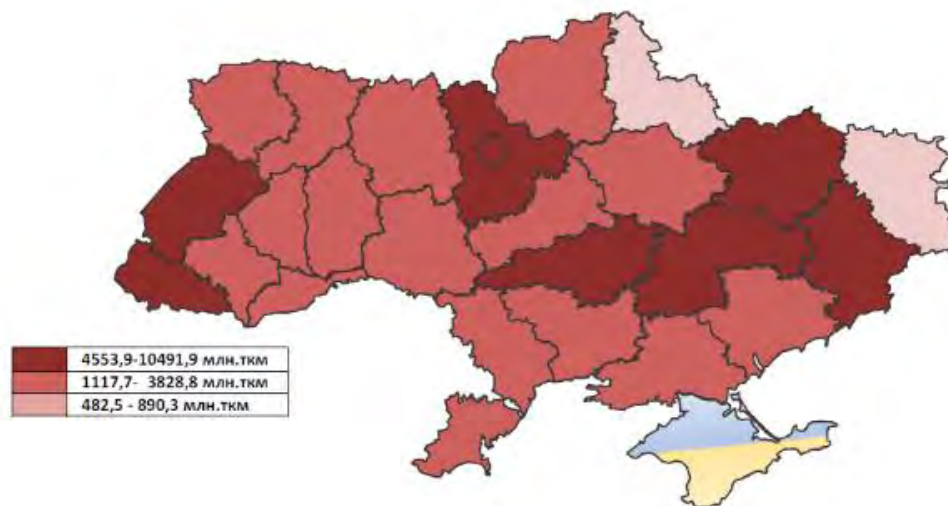


Рисунок 2.25 – Перевезення вантажів автомобільним транспортом у 2018 році

Дані про пасажирські перевезення згідно з [119] наведені на рис. 2.26.

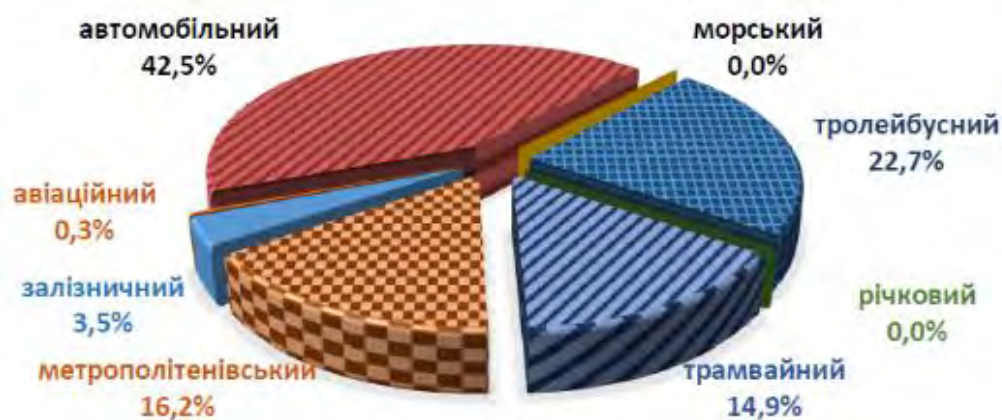


Рисунок 2.26 – Питома вага видів транспорту в перевезенні пасажирів у 2018 році

Загальна величина пасажирських перевезень в межах України у 2018 році — 34 560 млн пас. км з урахуванням розподілу по регіонах (рис. 2.27).

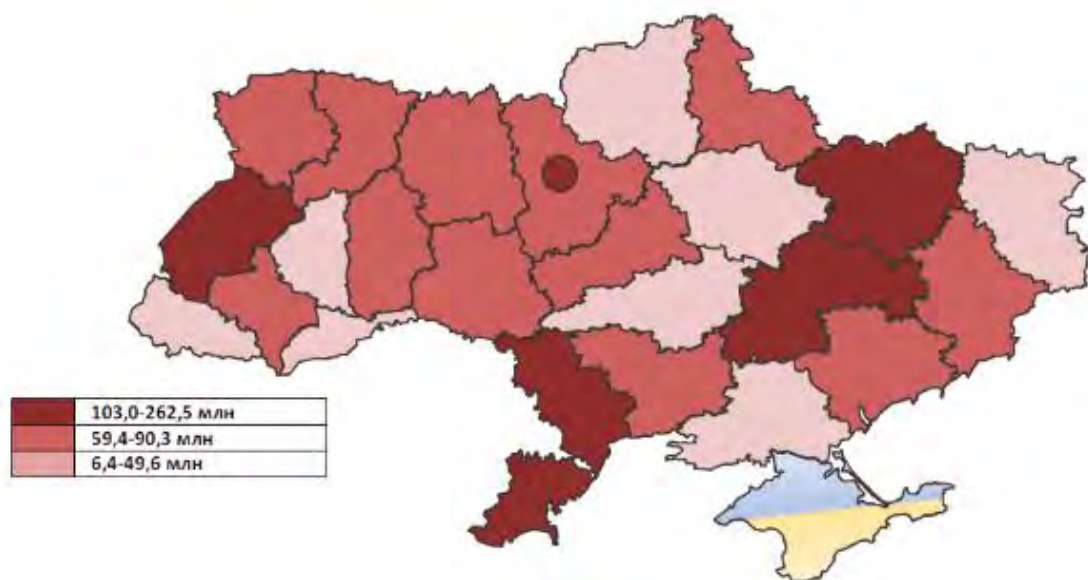


Рисунок 2.27 – Перевезення пасажирів автомобільним транспортом у 2018 році

Враховуючи статистичні дані [119] та методику розрахунку забруднюючих речовин [120], без урахування легкових автомобілів, які знаходяться у приватному користуванні маємо наступні дані забруднення за 2018 рік [138].

Таблиця 2.1 – Величина забруднення від вантажного та пасажирського транспорту за 2018 рік в тоннах

Групи автомобілів	Вид палива	CO	НМЛОС	CH ₄	NO ₂	C	N ₂ O	NH ₃	CO ₂	SO ₂	Pb	Бенз(а) пірен
А	Б	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вантажні автомобілі	Бензин	70240,9	5953,3	240,6	4060,8	-	7,3	0,8	664892,9	208,9	2,7	-
	ДП	8389,7	1260,8	54,1	4608,9	1070,7	18,5	-	484838,7	664,4	-	4,6
	Газ скр.	5046,0	705,3	-	291,7	-	-	-	-	15,0	-	-
	Газ стис.	2237,3	340,6	-	370,1	-	-	-	-	-	-	-
Пасажирські автобуси	Бензин	1750,7	142,8	5,8	92,5	-	0,2	0,0	15950,6	5,0	0,1	-
	ДП	207,9	30,2	1,3	109,2	25,7	0,4	-	11631,2	15,9	-	0,1
	Газ скр.	125,8	17,7	-	6,6	-	-	-	-	0,4	-	-
	Газ стис.	54,2	8,8	-	8,6	-	-	-	-	-	-	-

При розрахунку не врахований технічний стан та вік автомобільного транспорту, так як дана інформація в офіційних джерелах відсутня.

CO – оксид вуглецю; NH₃ – аміак; CH₄ – метан; N₂O – оксид азоту; C – сажа; NO₂ – діоксид азоту; SO₂ – діоксид сірки; Pb – свинець; CO₂ – вуглекислий газ (двоокис вуглецю); НМЛОС – неметанові леткі органічні сполуки.

Оксид вуглецю (CO₂) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, це основна компонента, що є причиною «парникового ефекту». У результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю CO — токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини. Діоксид сірки SO₂ — один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90 % викидів сірчистих сполук із димовими газами котлоагрегатів (решта — SO₃). Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі — 15–20 діб, у присутності великої кількості аміаку й інших речовин — декілька годин. При наявності кисню SO₂ переходить в SO₃ і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених

реакцій розподіляються таким чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери — 43 %, на поверхню гідросфери — 13 %; поглинається: рослинами — 12 %, поверхнею гідросфери — 13 %. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварини, рослини та інші речовини різноманітний і залежить від їх концентрації та багатьох факторів навколишнього середовища. Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні палива, що містять азотні сполуки, а також тих, що не містять, за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд сполук (N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 і N_2O_5), властивості яких, активність і тривалість існування різні та слабо залежать від виду і складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту зводять до NO_2 . Їх концентрація визначається режимом та організацією процесів горіння палива. Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, є одним із чинників утворення парникового ефекту та руйнуванню озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі тощо. Метан (CH_4) утворюється в результаті згоряння нафтопродуктів. Метан є також одним із газів, які впливають на виникнення парникового ефекту. Опади та кислотні дощі також пов'язані з наявністю в атмосфері аерозолів та оксидів SO_2 , NO_2 . Кліматичний цикл випадіння опадів має життєво важливе значення для всього людства та великомасштабні впливи на цей процес можуть призвести до дуже серйозних негативних наслідків. Проявом подібних впливів, що отримав досить широке поширення, є кислотні дощі, що мають низькі значення рН. Зміна значення рН опадів може викликати багато проблем, пов'язаних із біосферою; аналіз цих проблем на кількісному рівні становить у теперішній час область інтенсивних досліджень.

Враховуючи легкові автомобілі з імовірністю пробігу біля 15 тис. км/рік забруднення мережі автомобільних доріг лише свинцем сягатиме біля 4 т/рік.

Згідно з Законом України «Про заборону ввезення і реалізації на території України етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину» у чинній редакції

від 07.06.2013 на території України забороняється реалізація на етилованого бензину. Між тим, постанова Кабінету міністрів України від 1 серпня 2013 року № 927 «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» регламентує концентрацію свинцю у бензині для екологічних класів Євро 3 – Євро 5 не більше 5 мг/дм^3 [88]. Крім того, як свідчать результати торгів на електронній системі державних закупівель «Prozorro» [73, 147, 148] — етилований бензин реалізується (використовують термін — «етильований бензин» із вмістом свинцю не більше ніж $0,15 \text{ г/л}$, тому забруднення свинцем придорожньої смуги потрібно враховувати.

У роботі [121] досліджено, що викиди відпрацьованого палива від автомобільного транспорту окрім вищенаведених містять: формальдегід, кадмій, нікель, хром, мідь тощо. Дані забруднення осідають на покритті, біля 30 %, 40 % — в атмосфері [130-132].

Згідно з інформацією Міністерства інфраструктури України [49] 79 % автомобільних доріг становлять покриття капітального та удосконаленого перехідного типу (рис. 2.28), які є водонепроникними покриттями [1]. Водонепроникні покриття характеризуються великим показником стоку від загальної кількості опадів в межах (80–95) %.

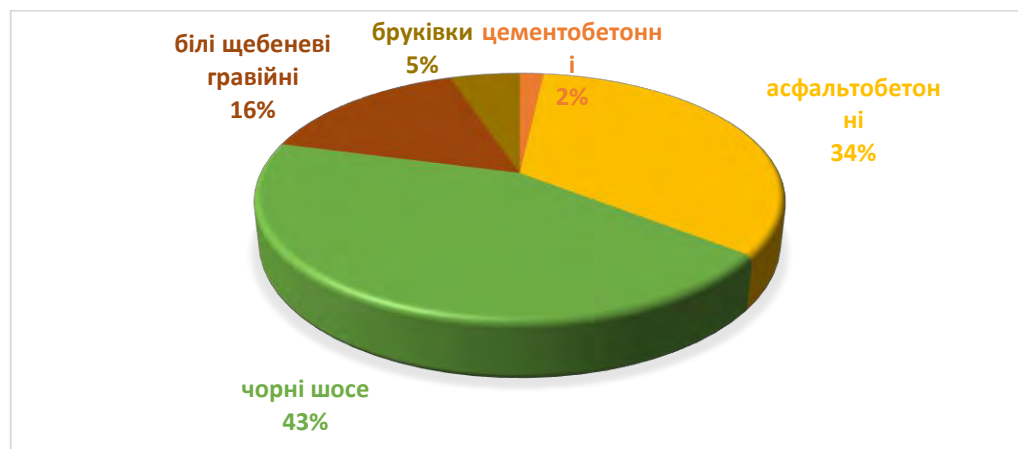


Рисунок 2.28 – Розподіл автомобільних доріг за типами покриття

На прикладі забруднення свинцем доцільно стверджувати про потребу ефективної системи водовідведення, як санітарного заходу щодо унеможливлення потрапляння забруднень автотранспорту у водне та ґрунтове навколишнє середовище. В Законі Про автомобільні дороги [81] регламентуються лише загальні положення при будівництві, ремонті та експлуатації автомобільних доріг.

Водні ресурси є стратегічним, життєво важливим природним ресурсом, що має особливе значення. Україна належить до держав з недостатнім забезпеченням водними ресурсами. Україна — одна з найменш водозабезпечених країн Європи. Водні об'єкти України вкривають 24,2 тис. км², що становить 4,0 % від її загальної території (603,7 тис. км²). До цих об'єктів належать річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо. Територія України має не дуже густу річкову мережу (середнє значення — 0,34 км²). Традиційно вода розглядається та використовується тільки як господарський ресурс для промислового і сільськогосподарського виробництва, отримання електроенергії, а також для скидання стічних вод [135].

В Україні найбільше досліджують вплив автомобільних доріг і транспорту на забруднення атмосферного повітря. Саме у цьому напрямку проведено наукові фундаментальні дослідження, щодо зменшення техногенного навантаження на повітряний басейн автомобільним транспортом. Одними з перших проблему забруднення повітря м. Києва, можливі зміни його складу, під дією викидів автотранспорту досліджували науковці: Берлянд М. Е., Тищенко Н. Ф., Стольберг Ф. В. Роботи Денисова В. Н. та Рогалева В. А дозволили дати більш якісну оцінку в області забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобільного транспорту. Вплив рельєфу і типу місцевості на процеси розсіювання сполук детально досліджено в працях Скопечького В. В., Хруща В. К. та ін. У Національному транспортному університеті питання впливу автомобільної дороги на придорожнє середовище відображені в роботах Гутаревича Ю. Ф., Зеркалова Д. В., Корпача А. О., Матейчика В. П. Впливи процесів будівництва, ремонту та експлуатації автомобільних доріг вивчені такими науковцями: Савенко

В. Я., Славінська О. С., Скорченко В. Ф., Мозговий В. В., Проник О. Ю. та ін. Кафедра екології та безпеки життєдіяльності займається моделюванням і прогнозуванням рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками [129].

Будівництво та експлуатація автомобільних доріг супроводжується прямим та опосередкованим впливом на водні об'єкти. Забруднення відбувається внаслідок надходження дощового стоку та талих вод з поверхні покриття [4, 11, 13, 14, 24, 45, 67, 69, 70, 83, 86, 121]. Токсичні компоненти відпрацьованих газів і пари палива утворюють в атмосфері смог, який, насичуючись парами води, осідає у вигляді туманів або випадає з опадами (дощ, сніг) [69, 83]. Допустимі концентрації забруднення залежно від типу водного об'єкта наведені у таблиці 2.2 [64].

Таблиця 2.2 – Допустимі величини показників якості стічних вод і води водойм

№п/п	Найменування речовини	ГДК шкідливих речовин у воді водних об'єктів (г/м ³)	
		Господарсько-питного водопостачання	Рибо-господарського призначення
1	Бенз(а)пірен	0,000005	-
2	Кадмій	0,001	0,005
3	Мідь	0,1	0,005
4	Метанол	3	0,1
5	Нафта та нафтопродукти	0,3	0,05
6	Нікель	0,1	0,01
7	Свинець	0,03	0,1
8	Формальдегід	0,05	0,01
9	Хром	0,05	0,001
10	Цинк	1	0,01

Загальна кількість штучних споруд на автомобільних дорогах загального користування становить 16 156 шт., з них через водні об'єкти — 5 977 шт. з урахуванням обстежених на кінець 2017 року, загальна протяжність мостів складає 151 978,73 метрів погонної довжини (75 % від загальної кількості) [134].

Протяжність мостів, з яких здійснюється відведення поверхневого стоку у водойми у співвідношенні до протяжності автомобільних доріг з капітальними чи удосконаленими типами покриттів становить менше 0,5 %. Тому, санітарно-технічні заходи для забезпечення ГДК водних об'єктів (табл. 2.2) повинні стати пріоритетними. Здійснення водогосподарської політики в нашій країні протягом десятиліть розглядається як основа життєзабезпечення природних екосистем і людини, що зрештою і призвело до вичерпання природно-екологічного потенціалу водних ресурсів. Нині майже у всіх розвинених країнах світу охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів стали пріоритетами стратегії державотворення. Впровадження ефективних рішень щодо мінімізації забруднень є основним критерієм будь-якого проєкту.

Забруднення ґрунтового середовища. Техногенний вплив автомобільної дороги та транспорту на ґрунтове середовище в Україні нормується лише частково. Характерними впливами в нормативних документах [21, 66, 67, 78] є забруднення свинцем та вплив будівництва на стійкість ґрунтів [8], їх ерозію та ін.

Очищення поверхневих стічних вод описане в [1, 11, 13, 14, 24, 45, 64, 70, 78, 83, 86] не має підтвердженої ефективності. Рішення для очищення наведені вище не можуть дати потрібного результату, який би забезпечив ступені очищення регламентовані Правилами приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України [64]. Фактично очисні споруди, які застосовуються на ринку України направлені на очищення 2-х показників залишків нафти та нафтопродуктів (бензин та дизельне паливо) та завислих речовин. Очищення від важких металів фактично не нормується, дослідження в даному напрямку в Україні не проводяться. Ступінь очищення поверхневих стічних вод для відведення на рельєф чи інфільтрацію в ґрунт в Україні не нормується. Очищення від важких металів не забезпечуються традиційними рішеннями: гравітаційними, коалесцентними чи механічними.

Величина забруднення нормується залежно від подальшого використання стоку, відповідно до з [127] очисні споруди поділяють на 2 класи за ступенем очищення:

- 1 – забезпечує ступінь очищення до вимог відведення в каналізаційну мережу;
- 2 – забезпечує ступінь очищення при якому можливе їх застосування, як першого ступеню очищення в комплексних очисних спорудах.

Ступінь очищення поверхневих стоків з автомобільних доріг, які потрапляють в ґрунти на поверхню або шляхом фільтрації повинні відповідати ступеню очищення не меншому ніж дані таблиці 2.2. Ці стоки фактично є одним із основних джерел живлення верхнього горизонту ґрунтових вод, які можуть використовуватись як джерело водопостачання.

Висновки до розділу 2

Встановлено теоретичні передумови підвищення ефективності гідравлічних розрахунків лінійних в плані водозбірних басейнів та сформульовано підхід до визначення основних показників впливу.

Вперше досліджено тривалість формування поверхневого стоку, як складової тривалості розрахункового дощу. Розроблено математичну модель визначення тривалості формування поверхневого стоку з урахуванням тривалості змочування покриття та руху поверхневого стоку змоченою поверхнею до розрахункового перерізу. Отримано графічні залежності, які характеризують тривалість формування поверхневого стоку в залежності від інтенсивності опадів, поперечного похилу та ширини проїзної частини. Підвищення точності результатів гідравлічних розрахунків в залежності від величини поздовжнього похилу автомобільної дороги становить (5 - 30) %.

Вперше визначено доцільність застосування поздовжнього похилу в розрахунках об'єму дощового стоку. Вплив поздовжнього похилу лінійного в плані

водозбірному басейну на розрахунковий параметр – розрахункову ширину. Застосування результатів даного дослідження дозволить підвищити точність розрахунків при проєктуванні водовідведення на автомобільних дорогах до 45 %.

У роботі проведено аналіз доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах загального користування. На основі аналізу вантажного та пасажирського транспортних переміщень виконано аналіз техногенного впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Сучасні рішення з водовідведення дають можливість: зменшення величини поперечного профілю, землевідведення, за рахунок відсутності потреби у влаштуванні дорожньої канави чи відкритого лотка на (8 – 17) %, при висоті насипу чи глибині виїмки до 3 м. зниження забруднення укосів земляного полотна та мінімізації інфільтрації забрудненого поверхневого стоку; унеможливають всмоктування забруднюючих речовин у кюветах.

Встановлено залежності для визначення роботи водовідвідних лоткових каналів неповним перерізом, які дозволяють прогнозувати частоту заходів експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Виконано аналіз вимог до локальних очисних споруд, оцінено недоліки та неефективність традиційних методів очищення дощового стоку.

Основні результати досліджень другого розділу висвітлено в роботах автора: [108, 138, 139, 146].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ТА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЛОТКОВИХ КАНАЛІВ

3.1 Перевірка теоретичних результатів

Дослідження 2 розділу присвячені визначенню теоретичного обґрунтування:

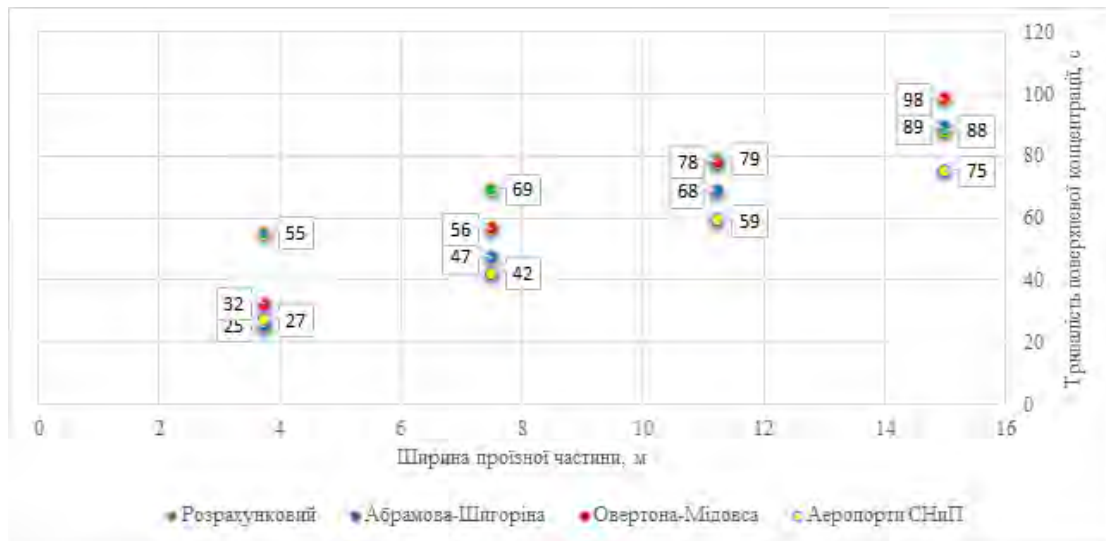
- тривалості формування поверхневого стоку, як складової тривалості розрахункового дощу. Вона безпосередньо впливає на точність розрахунку систем поверхневого водовідведення, мереж дощової каналізації та локальних очисних споруд;
- застосуванню розрахункових показників: розрахункового полиху лінійних в плані водозбірних басейнів та розрахункової ширини, значення яких є відмінними від фактичних поперечного похилу та ширини автомобільної дороги. Дають змогу точніше оцінити гідравлічне наваначення на поверхневе водовідведення та локальні очисні споруди дощового стоку;
- визначенню потреби у застосуванні поверхневого водовідведення, як складової комплексу санітарно-технічних рішень;
- дослідженню ефективності роботи V-подібного перерізу при роботі неповним перерізом, для обґрунтування ефективності самоочищення водовідвідного каналу при опада малої інтенсивності.

Результати теоретичних досліджень, отримані в підрозділі 2.2 перевіримо шляхом порівняння їх з відомими емпіричними залежностями.

Ефективність досліджень підрозділу 2.2 перевіримо з використанням формул (2.1), (2.2), (2.4). Враховуючи дані інтенсивності опадів в регіонах України та характеристики стихійно небезпечних явищ [140].



а)



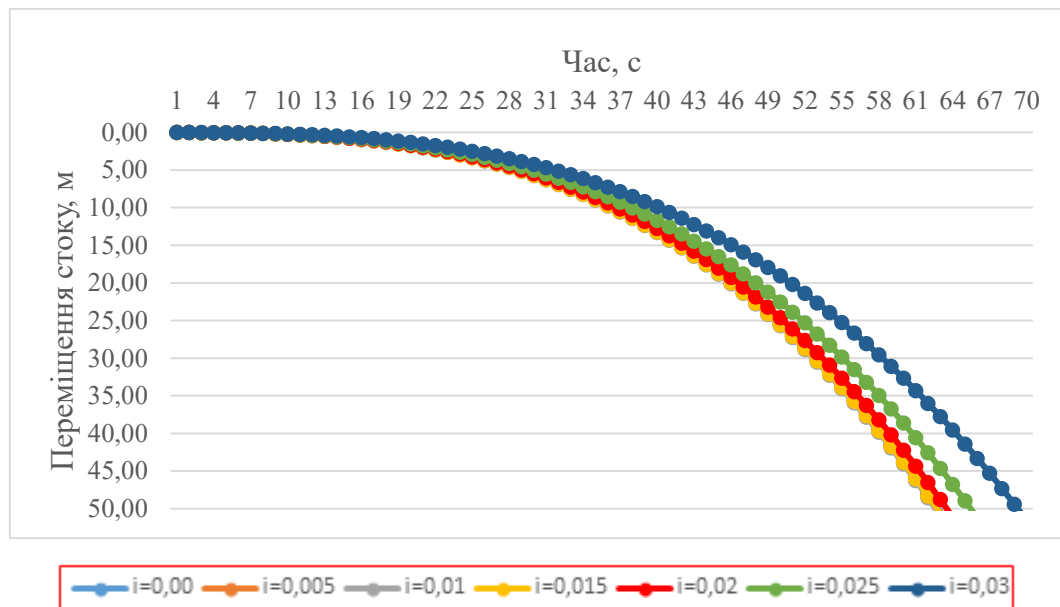
б)

а – при $q_{20} = 166,7$ (л/с)·га або 1 мм/хв б – $q_{20} = 65,3$ (л/с)·га

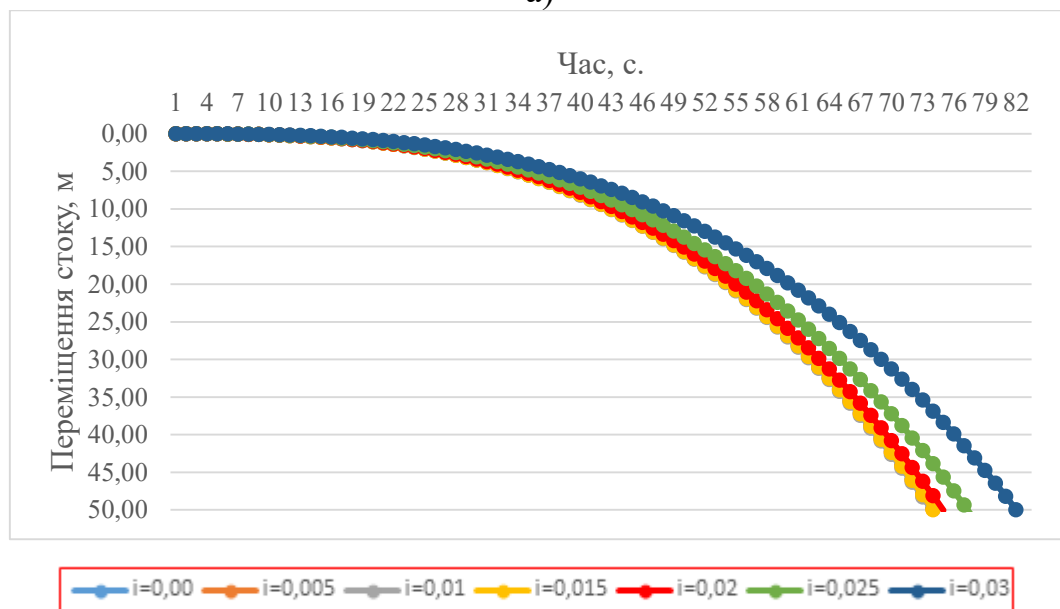
Рисунок 3.1 – Визначення t_{con} різними методами

Для визначення тривалості розрахункового дощу, при проектуванні поверхневого водовідведення та локальних очисних споруд, слід враховувати тривалість поверхневої концентрації стоку або тривалість формування поверхневого стоку. Для асфальтобетонних та цементобетонних покриттів визначальними є поздовжні й поперечні похили та геометричні параметрів водозбірного басейну [146]. Поздовжні похили автомобільних доріг впливають на розрахункові похил та

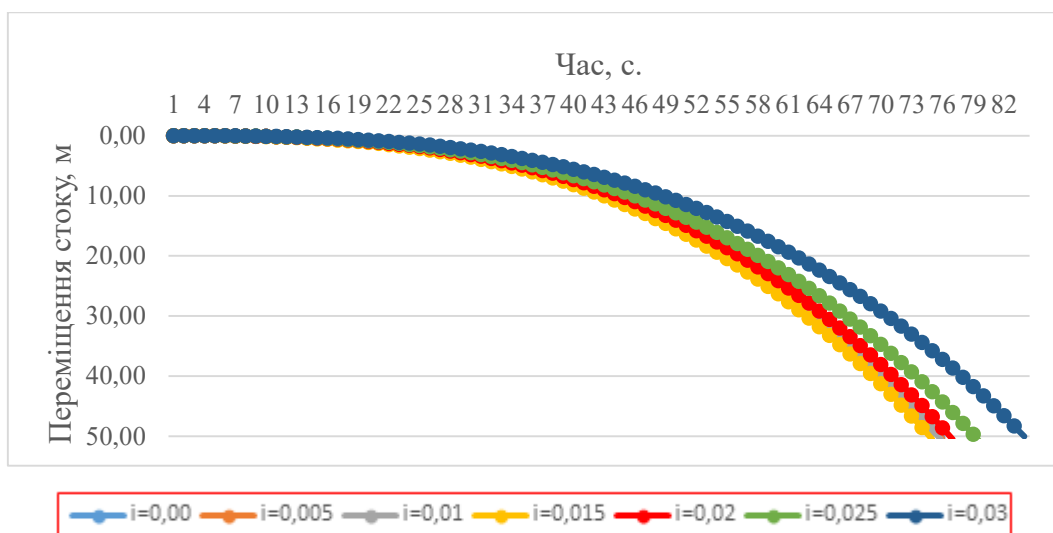
ширину водозбірного басейну, що, в подальшому, впливає на тривалість розрахункового дощу та загальну секундну витрату з водозбірної ділянки. Діапазон розрахункової інтенсивності дощу прийнятий 134 (л/с)·га - 65,3 (л/с)·га у відповідності з [1] з кроком 10 одиниць, а розрахункова величина $q_{20}=166,7$ (л/с)·га прийнята в розрахунок з умови відповідності [140] стихійному метеорологічному явищу при тривалості понад 30 хв (рис. 3.2).



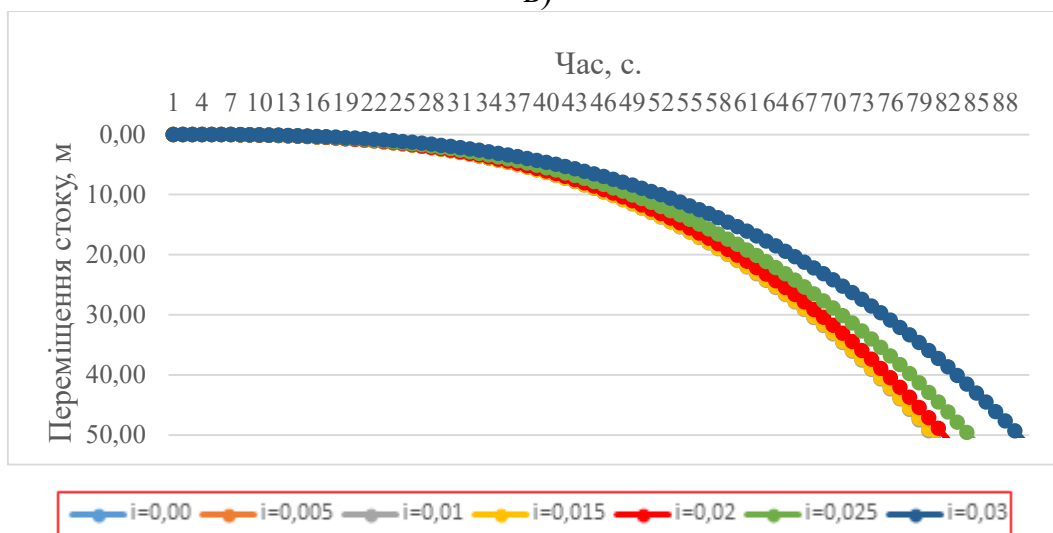
а)



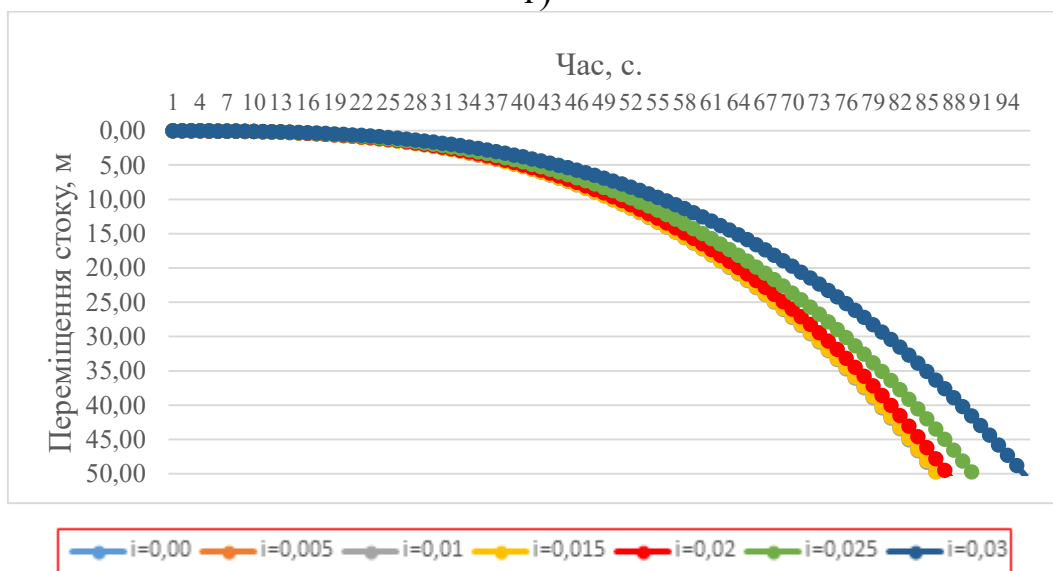
б)



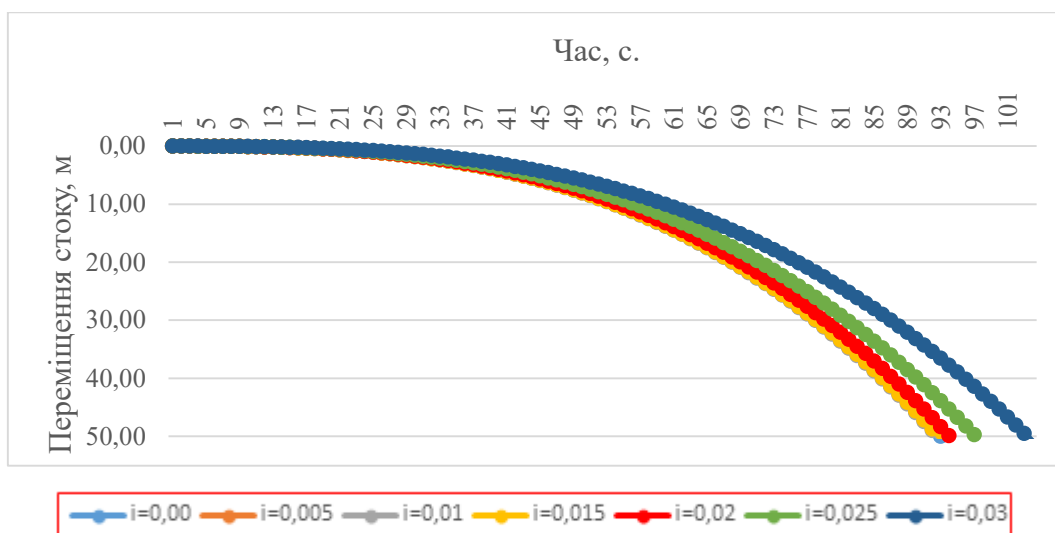
в)



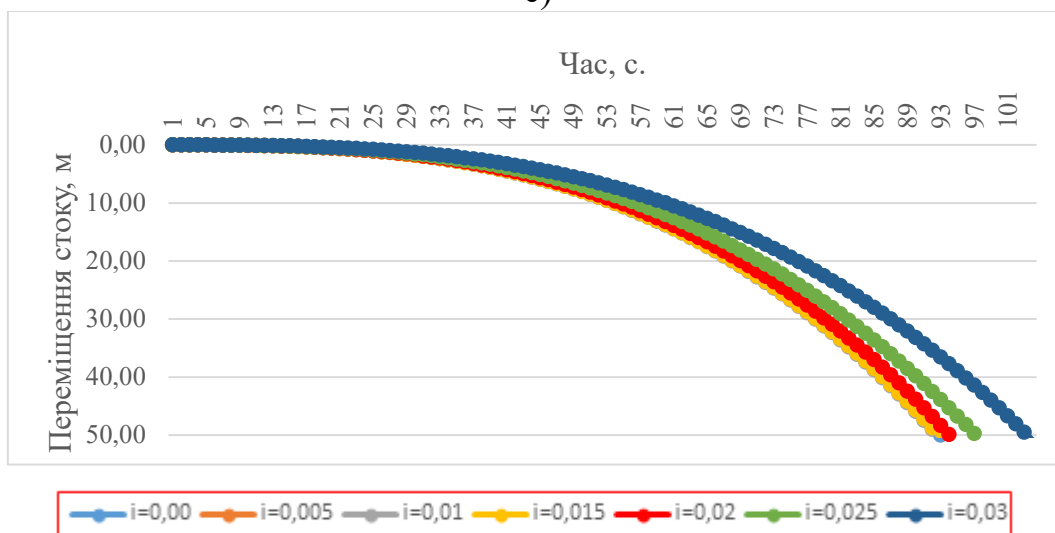
г)



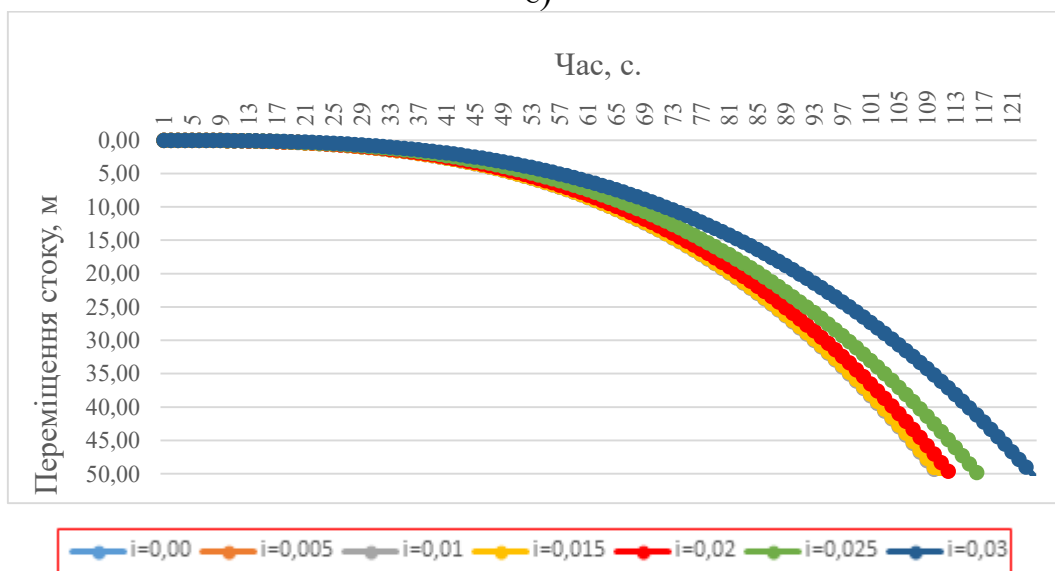
д)



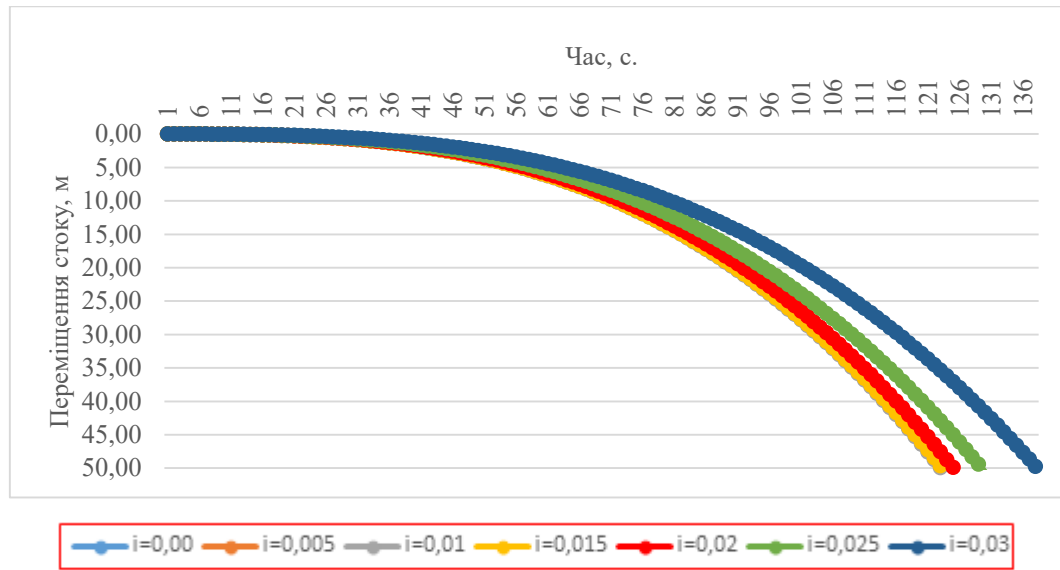
е)



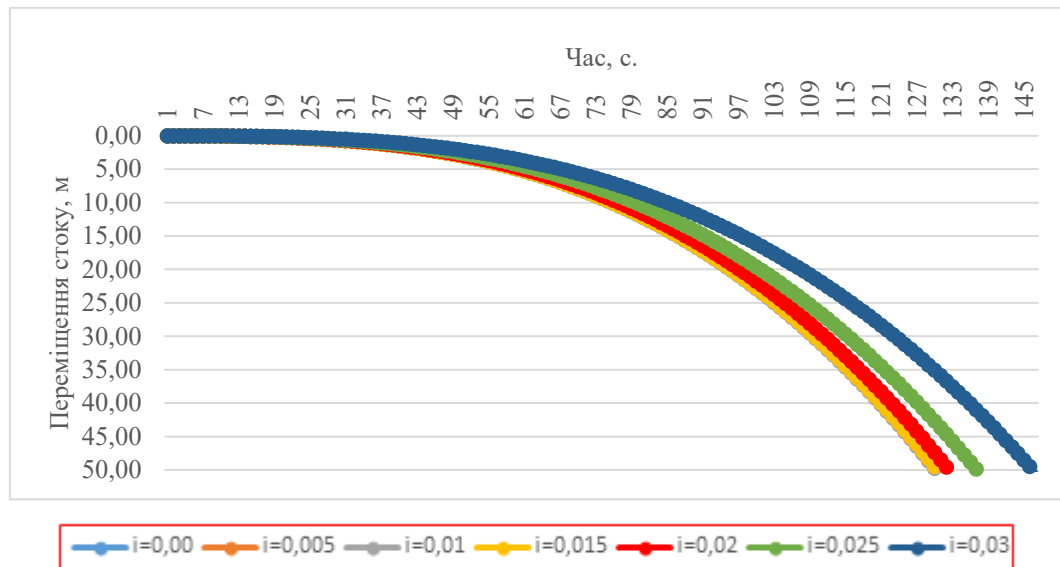
е)



ж)



3)



и)

а) при $q_{20}=166,7$ (л/с)·га; б) при $q_{20}=134$ (л/с)·га; в) при $q_{20}=130$ (л/с)·га;
 г) при $q_{20}=120$ (л/с)·га; д) при $q_{20}=110$ (л/с)·га; е) при $q_{20}=100$ (л/с)·га;
 є) при $q_{20}=90$ (л/с)·га; ж) при $q_{20}=80$ (л/с)·га; з) при $q_{20}=70$ (л/с)·га;
 и) при $q_{20}=65,3$ (л/с)·га.

Рисунок 3.2 – Тривалість формування поверхневого стоку

3.2 Експериментальні дослідження визначення пропускної здатності лоткових каналів систем поверхневого водовідведення

Системи водовідведення відкритого типу, представлені водовідвідними каналами, можуть використовуватись в якості збірних систем для прийому дощових вод безпосередньо на покритті автомобільних доріг, а також для відводу і транспортування зібраної поверхневого стоку до магістральних мереж або до місць їх очищення та утилізації [149].

Рух дощового стоку водовідвідними лотковими каналами, звичайно відбувається у безнапірному (самопливному) режимі, який потребує прокладання каналів з додатнім похилом. Подальше транспортування зібраного стоку може здійснюватись як у безнапірному, так і у напірному режимах.

Рух води у збірних лотках звичайно є нерівномірним, окрім того він характеризується змінною витратою вздовж шляху. На початкових ділянках лінійної системи водовідведення витрата мінімальна, за його довжиною вона збільшується і досягає максимального значення в кінцевих перерізах. У водовідвідних мережах рух є також нерівномірним, оскільки мають місцеві опори (повороти, приєднання, зміна діаметра, перепади та ін.). В точці скидання зібраного поверхневого стоку, в залежності від рівня води в останньому, в трубопроводі може встановлюватися крива підпору або спаду.

Оскільки інтенсивність дощу змінюється з часом, в загальному випадку нерівномірний рух зі змінною витратою у збірних водовідвідних каналах, є неусталеним. Однак, з метою спрощення розрахунків, на окремих ділянках мережі рух розглядається усталеним.

Витрата Q і швидкість V в довільному перерізі відкритого безнапірного потоку розраховуються за формулою Шезі [113]:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i_{\text{кан}}}, \quad (3.1)$$

$$Q = K \cdot \sqrt{i_{\text{кан}}}, \quad (3.2)$$

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i_{\text{кан}}}, \quad (3.3)$$

$$V = W \cdot \sqrt{i_{\text{кан}}}, \quad (3.4)$$

де ω – площа живого перерізу потоку у збірному лотку, м²;

$R = \omega/\chi$ – гідравлічний радіус, м;

χ – змочений переріз, м;

C – коефіцієнт Шезі (швидкісний коефіцієнт);

$i_{\text{кан}}$ – геометричний похил дна каналу, ‰.

Витратна K і швидкісна W характеристики потоку визначаються за співвідношеннями (3.5, 3.6):

$$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}, \quad (3.5)$$

$$W = C \cdot \sqrt{R}. \quad (3.6)$$

У приведених залежностях для визначення коефіцієнта Шезі C використовується залежність, яка справедлива при турбулентному режимі руху рідини, що має місце в збірних каналах для прийому дощових вод [113, 136]:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_{36}}}, \quad (3.7)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\lambda_{36} = 1,3 \lambda$ – гідравлічний коефіцієнт тертя при русі потоку з приєднанням рідини вздовж шляху [36];

λ – гідравлічний коефіцієнт тертя, який при розвиненому турбулентному русі можна розраховувати за формулою Шифринсона [36].

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_{\text{екв}}}{D_{\text{екв}}} \right)^{0.25}, \quad (3.8)$$

де $\Delta_{\text{екв}} = 0,025$ – еквівалентна шорсткість стінок каналу, мм;

$D_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр каналу, мм.

Оскільки форма поперечного перерізу розглядуваних водозбірних каналів має певні особливості, описати математично її параметри складно.

У подальшому при виконанні розрахунків попередньо були проведені вимірювання основних геометричних характеристик перерізів каналів різного діаметра і форми при різних його наповненнях $\Delta = h/H$ (h – глибина потоку води в каналі, H – висота стінок каналу):

b – ширина вільної поверхні рідини;

χ – змочений периметр.

При цьому розраховувались:

ω – площа перерізу потоку;

R – гідравлічний радіус;

$\lambda_{\text{зб}}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя для даного випадку;

C – коефіцієнт Шезі;

W – швидкісна характеристика;

K – витратна характеристика [151].

Таблиці складені для можливості визначення швидкості руху V і витрати Q води при різних формах перерізу і розмірах каналу в залежності від його наповнення Δ і похилу прокладення i . Також приводяться відповідні значення глибин потоку h .

Наявність в безнапірних потоках місцевих опорів (поворот каналу, приєднання або від'єднання бічних каналів та ін.) викликає виникнення підпорів, що призводить до зменшення швидкості руху стічних вод. При виникненні підпорів можливе випадіння різного роду забруднень і швидке замулення каналів. Для того,

щоб підпор не виникав перед місцевим опором, необхідно забезпечити в лотках самопливної мережі додаткове падіння, яке повинно дорівнювати втратам напору в місцевому опорі і визначається за формулою (3.9):

$$h_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (3.9)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, віднесений до середньої швидкості потоку до або після опору.

За даними Н.Ф. Федорова значення коефіцієнта місцевого опору залежить від геометричних розмірів живого перерізу потоку і числа Фруда [169].

В основу розрахунку водовідвідних каналів прийнято, що рух стоків у відкритих системах водовідведення слід виконувати за принципами постійного рівномірного потоку (формула Манінга [190]) – надмірно спрощений підхід, який зазвичай використовується для проєктування трубопроводів. Стійкий рівномірний потік не враховує постійний або змінний бічний приплив, що надходить у канал через решітку по всій її довжині, тому результати можуть бути оманливими та потенційно небезпечними.

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 експерименту вимірювались такі фактори:

1. Введення рідини в канал та маніпулювання гідравлічними та геометричними параметрами для перевірки теоретичних даних щодо пропускної здатності водовідвідних каналів.
2. Визначення швидкості потоку в залежності від рівня наповнення при сталій витраті.
3. Перевірка теоретичних даних щодо впливу на гідравлічні показники форми та шорховатості стінок водовідвідних каналів.

4. Визначення геометричних параметрів (ширина, висота) для забезпечення ефективного водовідведення при змінних параметрах стоку. Визначення максимальної ефективності лінії водовідвідних каналів.

5. Визначення ефекту самоочищення водовідвідних каналів гідравлічним потоком.

6. Визначення впливу рідин різної в'язкості, наприклад вода чи нафтопродукти, на гідравлічні показники.

Дослідження виконувались на стенді з застосуванням водовідвідних каналів ТМ АСО (рис. 3.3)



Рисунок 3.3 – Стенд для визначення пропускної здатності водовідвідних каналів

При експериментальних дослідженнях пропускної здатності водовідвідних каналів, шляхом зміни інтенсивності – імітації дощу, позовжнього похилу та

поперечного похилу ділянки водозбірного басейну, отримано експериментальні дані пропускної здатності водовідвідних каналів з урахуванням довжини, поздовжнього похилу лінії та різних умовах надходження стоку у лінію водовідвідних каналів (табл. 3.1). Лабораторні дослідження пропускної здатності водовідвідних каналів виконувались на стенді з імітацією змінної витрати стоку, зміною поздовжнього похилу (рис. 3.4)

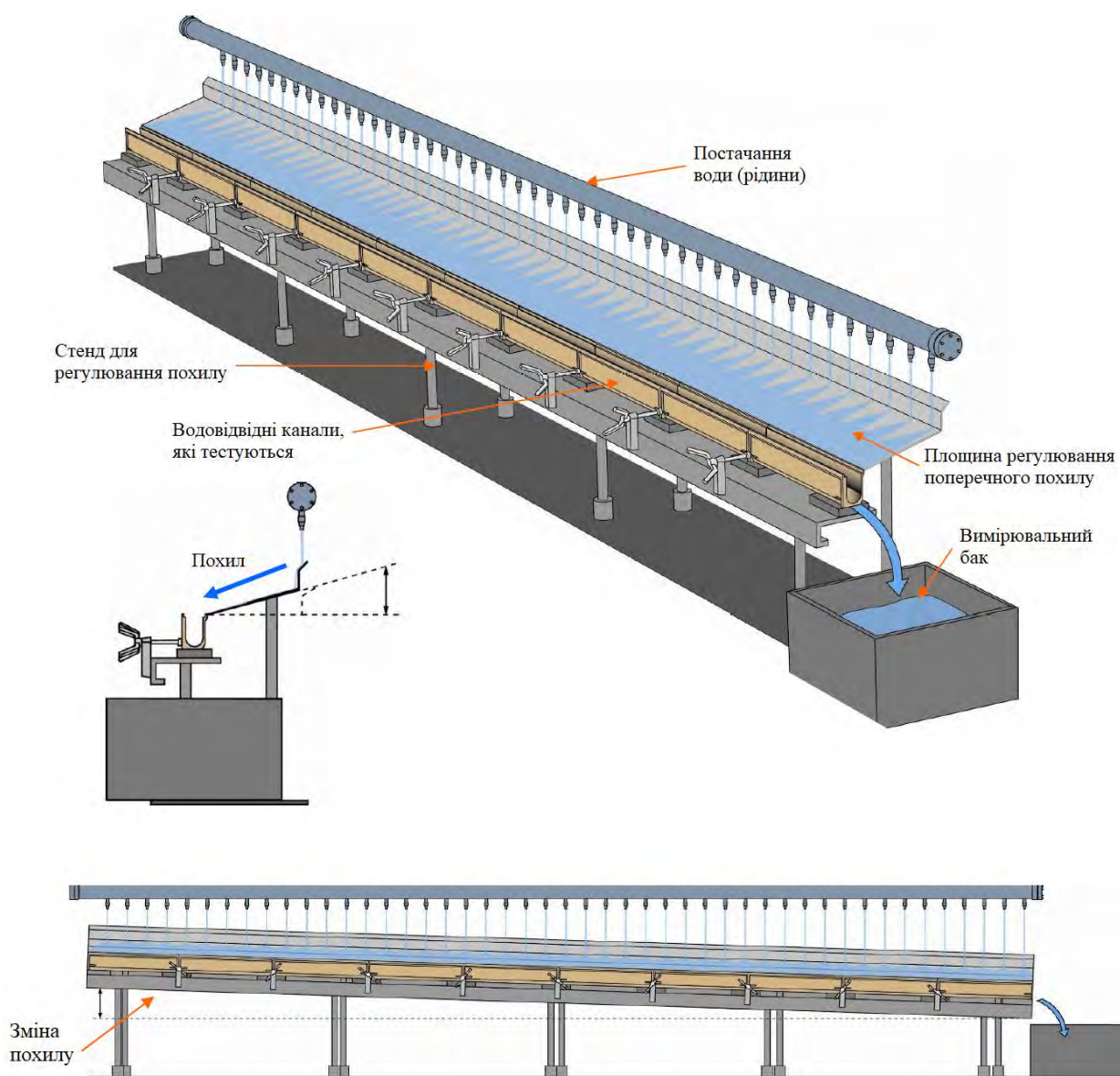


Рисунок 3.4 – Визначення пропускної здатності водовідвідних каналів

Результати моделювання роботи водовідвідних каналів виконано в розрахунковому комплексі «АСО Hydraulics V3.1.1» (рис. 3.5 - рис. 3.7).

Таблиця 3.1 – Лабораторні випробування пропускної здатності водовідвідного каналу h 200 мм, B 200 мм

i	0 ‰		5 ‰		10 ‰	
Довжина ділянки L , м	Q , л/с	q , л/с	Q , л/с	q , л/с	Q , л/с	q , л/с
5	17,5	3,5	20,5	4,1	23	4,6
10	16,6	1,66	21,5	2,15	25,5	2,55
15	16,05	1,07	22,5	1,5	27,75	1,85
20	15,6	0,78	23,6	1,18	29	1,45
25	15,25	0,61	24,5	0,98	30,75	1,23
30	14,7	0,49	25,5	0,85	31,2	1,04
35	14,35	0,41	25,9	0,74	32,55	0,93
40	14	0,35	26	0,65	32,8	0,82
45	13,95	0,31	26,55	0,59	34,2	0,76
50	13,5	0,27	27	0,54	34,5	0,69

Пропускна здатність каналу при розрахунку з позовжнім похилом – 0 ‰, 5 ‰ та 10 ‰ (рис. 3.5 - рис. 3.7).

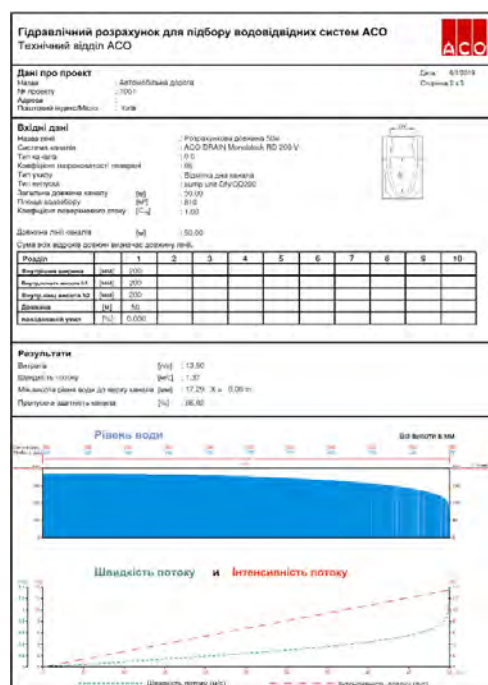


Рисунок 3.5 – Результати моделювання пропускної здатності водовідвідного каналу при позовжньому похилі 0 ‰

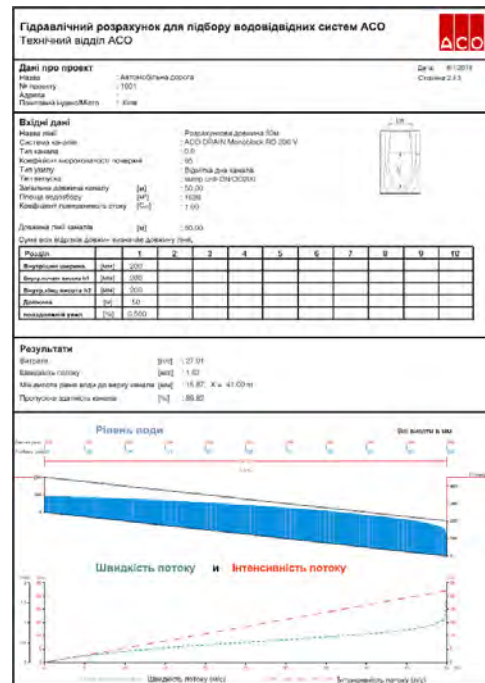


Рисунок 3.6 – Результати моделювання пропускної здатності водовідвідного каналу при поздовжньому похилі 5 ‰

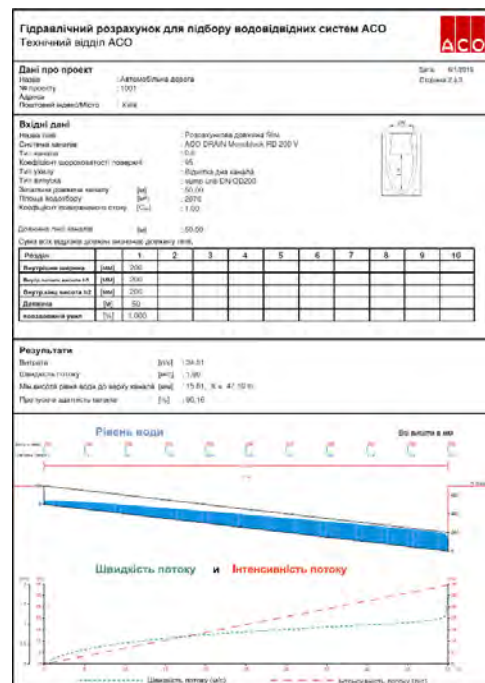


Рисунок 3.7 – Результати моделювання пропускної здатності водовідвідного каналу при поздовжньому похилі 10 ‰

Теоретичні розрахунки пропускної здатності отримано шляхом визначення витратної та швидкісної характеристик. В таблиці 4.2 приведені результати розрахунків виконані з урахуванням формул (3.1) – (3.8) та таблиці 1.4

Таблиця 3.2 – Теоретичні розрахунки пропускної здатності водовідвідного каналу h 200 мм, B 200 мм

$i = 5 \text{ ‰}$			
Δ	h	Q	V
5	10	0,13	0,31
10	20	0,54	0,47
15	30	1,22	0,58
20	40	2,13	0,67
25	50	3,26	0,75
30	60	4,62	0,82
35	70	6,19	0,88
40	80	7,98	0,93
50	100	12,13	1,03
60	120	16,98	1,11
70	140	22,44	1,18
80	160	28,38	1,24
90	180	34,66	1,29
100	200	41,12	1,33

$i = 10 \text{ ‰}$			
Δ	h	Q	V
5	10	0,19	0,44
10	20	0,77	0,66
15	30	1,72	0,82
20	40	3,01	0,95
25	50	4,62	1,06
30	60	6,53	1,16
35	70	8,76	1,24
40	80	11,28	1,32
50	100	17,15	1,45
60	120	24,02	1,57
70	140	31,73	1,66
80	160	40,13	1,75
90	180	49,01	1,82
100	200	58,16	1,88

де Δ – наповнення каналу, %;

h – наповнення каналу, мм;

Q – пропускна здатність каналу, л/с;

V – швидкість потоку, м/с.

У таблиці 3.2 наведені результати розрахунків при i рівним 5 ‰ та 10 ‰, визначення швидкості при $i = 0 \text{ ‰}$ за стандартною методикою не можливо.

Другий спосіб, з застосуванням формул (1.17) – (1.20) рівняння Шезі та врахування V-подібної форми водовідвідного каналу (2.99) та (2.100) пропускна здатність каналів становить:

Таблиця 3.3 – Теоретичні розрахунки пропускної здатності водовідвідного каналу h 200 мм, B 200 мм, при $i = 10 ‰$

Форма	$\omega, м^2$	$L, м$	$R, м$	$V, м/с$	C	$i, ‰$	$Q, л/с$	$\Delta, ‰$
V-подібна	0,005	0,145	0,034	1,43	77,20	10	7,06	40
V-подібна	0,010	0,210	0,046	1,70	79,62	10	16,34	50
V-подібна	0,014	0,274	0,052	1,84	80,68	10	26,03	60
V-подібна	0,019	0,335	0,056	1,92	81,34	10	35,88	70
V-подібна	0,023	0,391	0,059	1,99	81,82	10	45,84	80
V-подібна	0,027	0,442	0,062	2,05	82,24	10	55,90	90
V-подібна	0,031	0,485	0,065	2,10	82,64	10	66,05	100

Таблиця 3.4 – Теоретичні розрахунки пропускної здатності водовідвідного каналу h 200 мм, B 200 мм, при $i = 5 ‰$

Форма	$\omega, м^2$	$L, м$	$R, м$	$V, м/с$	C	$i, ‰$	$Q, л/с$	$\Delta, ‰$
V-подібна	0,005	0,145	0,034	1,01	77,20	5	4,99	40
V-подібна	0,010	0,210	0,046	1,20	79,62	5	11,55	50
V-подібна	0,014	0,274	0,052	1,30	80,68	5	18,41	60
V-подібна	0,019	0,335	0,056	1,36	81,34	5	25,37	70
V-подібна	0,023	0,391	0,059	1,41	81,82	5	32,42	80
V-подібна	0,027	0,442	0,062	1,45	82,24	5	39,52	90
V-подібна	0,031	0,485	0,065	1,49	82,64	5	46,71	100

Таблиця 3.5 – Теоретичні розрахунки пропускної здатності водовідвідного каналу h 200 мм, B 200 мм, при $i = 0 ‰$

Форма	$\omega, м^2$	$L, м$	$R, м$	$V, м/с$	C	$i, ‰$	$Q, л/с$
V-подібна	0,031	0,485	0,065	0,000	82,633	0	0,00

де ω – площа живого перерізу, $м^2$;

L – довжина змоченого периметру, $м$;

R – гідравлічний радіус, $м$;

C – коефіцієнт опору тертя;

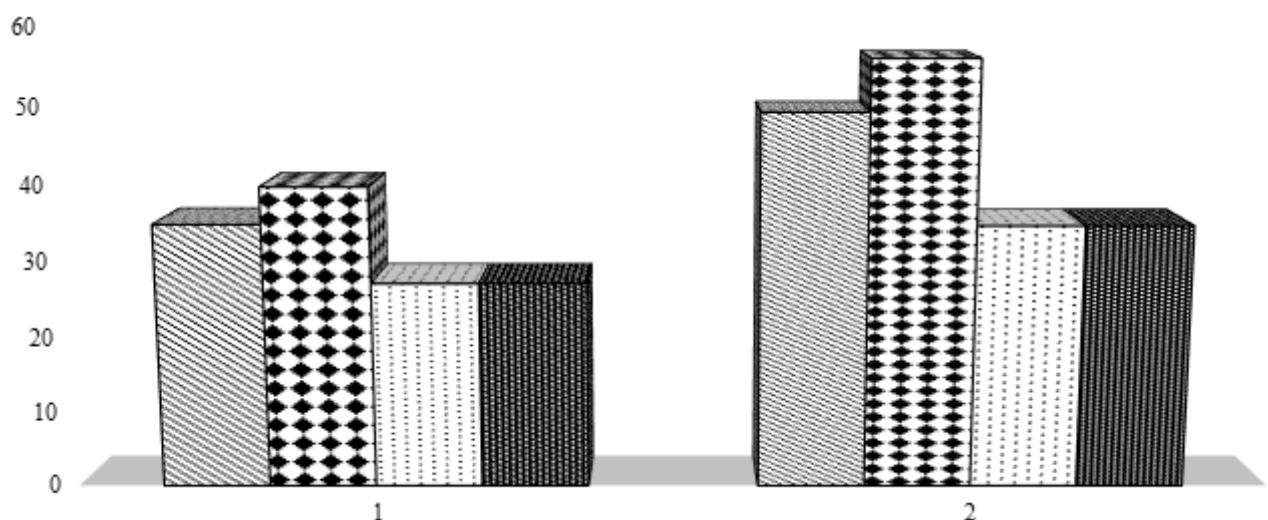
i – похил, $‰$.

Отримані практичні результати імітації роботи водовідвідних каналів та теоретичні результати розрахунків (двома незалежними способами) мають суттєві розходження.

Теоретичні розрахунки отримані на основі розрахунків закритих каналізаційних трубопроводів мають суттєві відмінності від отриманих експериментальних даних. Ряд факторів впливають на це:

- методики, які засновані на гідравлічних розрахунках каналізаційних трубопроводів не враховують гальмування потоку в каналі за рахунок надходження стоку через решітку;
- 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.

Проведемо аналіз отриманих результатів (ри. 3.8).



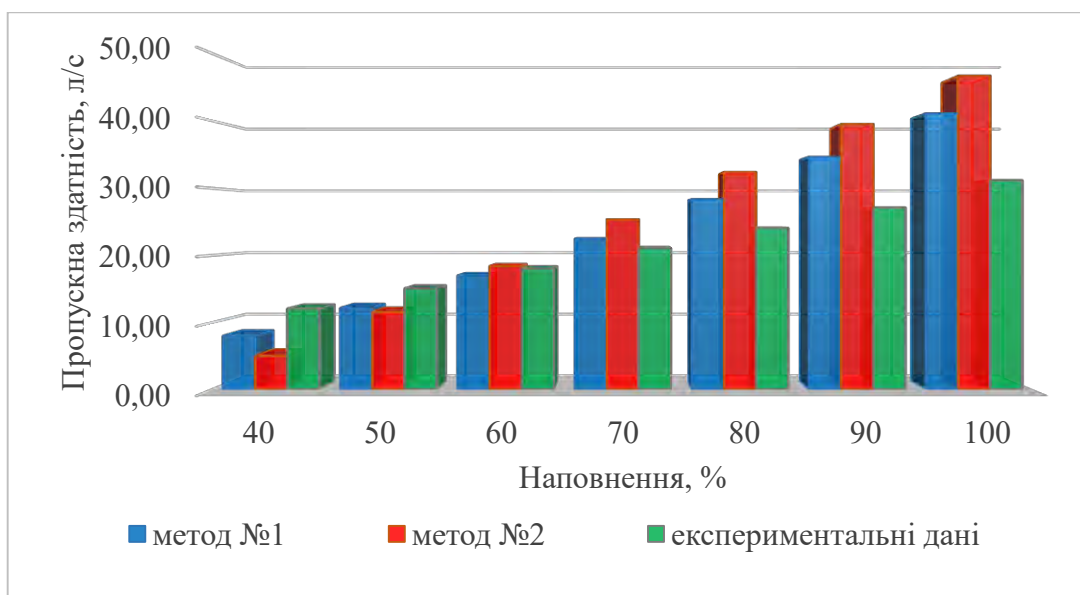
▨ метод №1 ▨ метод №2 ▨ експериментальні дані ▨ розрахунковий метод

1 – при розрахунковому похилі водовідвідних каналів 5 ‰; 2 – при розрахунковому похилі водовідвідних каналів 10 ‰; метод № 1 – з використанням швидкісної та витратної характеристики елементу водовідведення; метод № 2 – з урахуванням формули Павловського при визначенні гідравлічного радіуса; експериментальні дані – результати отримані на стенді; розрахунковий метод – метод запропонований автором

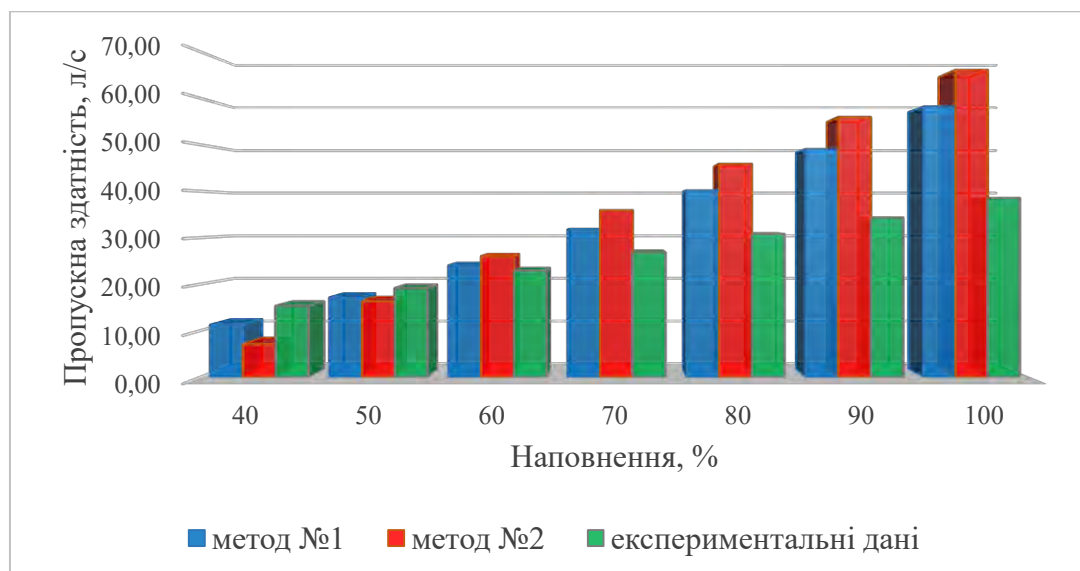
Рисунок 3.8 – Порівняння результатів отриманих практично та теоретично різними способами

Теоретичні результати (2.99) та (2.100) покладені в основу моделювання розрахункового програмного забезпечення «Hydraulics V3.1.1».

Результати порівняння теоретичних розрахунків при різних показниках наповнення та практичних результатів наведені на рисунку 3.9.



а)



б)

а) – при розрахунковому похибі 5 ‰; б) – при розрахунковому похибі 10 ‰

Рисунок 3.9 – Порівняння результатів теоретичних розрахунків в діапазонах наповнення 40-100 %

Відхилення методу №1 (з застосуванням формул для визначення швидкісних та витратних характеристик) при розрахунковому похибі 5 ‰ в межах наповнення (60-70) % знаходиться в допустимому діапазоні відхилення, при похибі 10 ‰ – при

наповненні – 60 %. Метод №2 (з урахуванням формули Павловського, метод описаний в ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування) знаходиться в допустимому діапазоні відхилення при похилі 5 ‰ – при наповненні – 60 % та близько 65 % при похилі 10 ‰ .

Таблиця 3.6 – Визначення відхилення результатів відомих гідравлічних методів, %

Метод отримання даних	Теоретичний метод №1		Теоретичний метод №2	
Наповнення, %	Похил, ‰		Похил, ‰	
	5	10	5	10
40	33,98	26,72	58,68	54,11
50	19,73	10,64	23,55	14,86
60	6,27	4,43	1,60	13,18
70	5,94	17,70	19,80	33,11
80	17,15	29,92	33,81	48,42
90	28,37	42,06	46,39	62,02
100	31,21	50,30	49,03	70,70

Згідно з [1] рекомендоване наповнення невеликих розмірів каналізаційних трубопроводів дощової мережі – (60 - 70) %. Саме цей діапазон найбільше співпадає з практичними результатами.

Отримані практичні результати на стенді увійшли в основу програмного комплексу «АСО Hydraulics V3.1.1», тому практичної відмінності між ними не має на відміну від відомих методів розрахунку.

3.3 Натурні дослідження визначення тривалості формування поверхневого стоку

Для перевірки точності отриманих теоретичних даних було проведено експериментальні дослідження. У відповідності з вимогами [193] проведено дослідження тривалості формування поверхневого стоку за різних умов

атмосферних опадів. Утворення поверхневого стоку та його рух фіксувався шляхом забарвлення стоку. Опади фіксувались при різних умовах інтенсивності дощу, рис. 3.10, рис. 3.11 та одночасно проводилось визначення тривалості формування поверхневого стоку на ділянках для однієї смуги руху з шириною – 3,75 м та для двох смуг руху шириною – 7,5 м.



Рисунок 3.10 – Дослідження тривалості поверхневого стоку 24.09.2020

У першому випадку результати вимірювань виконувались при інтенсивності опадів становила – 0,9 мм/хв (24.09.2020). Інтенсивність визначалась тільки на період формування поверхневого стоку.

В іншому випадку спостереження проводились при інтенсивності – 0,32 мм/хв (27.09.2020) (рис. 3.11).

Отримані в результаті експериментальних досліджень результати співставленні з результатами розрахунків отриманих відомими методами, формулами (2.1), (2.2), (2.4) та результатами досліджень.



Рисунок 3.11 – Дослідження тривалості поверхневого стоку 27.09.2020

У результаті фіксації тривалості формування стоку на розрахункових ділянках 3,75 м (рис. 3.12) та 7,5 м (рис. 3.13).

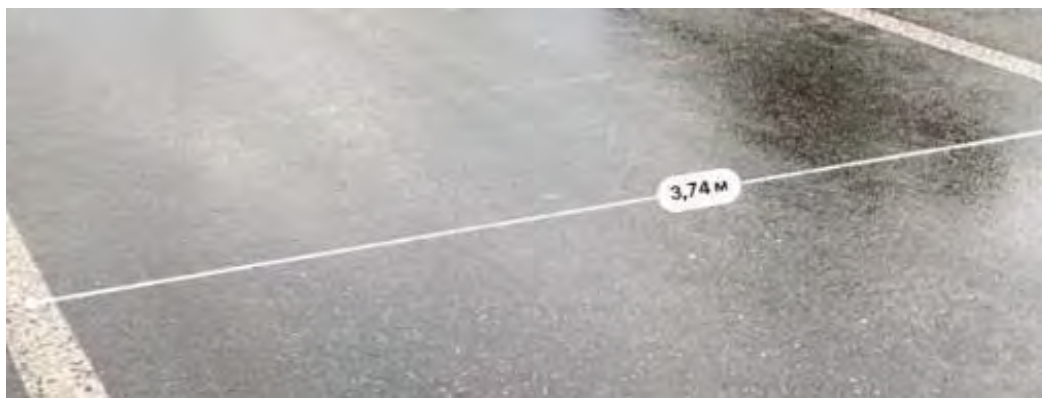


Рисунок 3.12 – Досліджувана ділянка – 1 смуга руху



Рисунок 3.13 – Досліджувана ділянка – 2 смуги руху

Отримані дані розрахунку різними відомими методами, формули (2.1), (2.2), (2.4), дані отримані розрахунковим шляхом з використанням формули (2.82) та дані отримані в ході експерименту зведено в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати тривалості поверхневої концентрації стоку при інтенсивності опадів 0,9 мм/хв

Відстань, м	Метод				
	Абрамова-Шигоріна	Овертона-Мідовса	Розрахунковий	СНиП 2.05.08-85 "Аэропорты"	Експериментальний
	Час, с				
3,75	13	25	29	17	27
7,50	25	44	36	29	35

З урахуванням отриманих результатів визначено середнє відхилення розрахункових показників від експериментально досліджених (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Відхилення тривалості поверхневої концентрації стоку за теоретичними методами від експериментального при інтенсивності опадів 0,9 мм/хв

Відхилення, %			
Абрамова-Шигоріна	Овертона-Мідовса	Розрахунковий	СНиП 2.05.08-85 "Аэропорты"
51,85	7,41	7,41	37,04
28,57	25,71	2,86	17,14

Аналогічне порівняння виконано при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Результати тривалості поверхневої концентрації стоку при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв

Відстань, м	Метод				
	Абрамова-Шигоріна	Овертона-Мідовса	Розрахунковий	СНиП 2.05.08-85 "Аэропорты"	Експериментальний
	Час, с				
3,75	31	50	68	32	64
7,50	58	87	86	56	84

Таблиця 3.10 – Відхилення тривалості поверхневої концентрації стоку за теоретичними методами від експериментального при інтенсивності опадів 0,32 мм/хв

Відхилення, %			
Абрамова-Шигоріна	Овертона-Мідовса	Розрахунковий	СНиП 2.05.08-85 "Аэропорты"
51,56	21,88	6,25	50,00
30,95	3,57	2,38	33,33

В методиці розрахунку локальних очисних споруд за [1], допускається приймати показник тривалості поверхневої концентрації стоку від 2 хв до 10 хв. Фактично збільшуючи тривалість розрахункового дощу, що в подальшому призводить до затоплення доріг (табл. 3.11, рис. 3.14)

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків дощового стоку та фактичного відхилення за різними методами від експериментального

Метод розрахунку	Тривалість t_{con} , хв	Загальні розрахунки з водозбірного басейну, л/с	Результати розрахунків ЛОС, л/с	Відхилення від практичного, %
1	2	3	4	5
Абрамова-Шигоріна	0,42	64,80	7,78	7,16
Овертона-Мідовса	0,73	57,03	6,84	5,79

Кінець табл. 3.11

1	2	3	4	5
Розрахунковий	0,6	60,01	7,20	0,83
СНиП 2.05.08-85 "Аэропорты"	0,48	63,11	7,57	4,27
ДБН В.2.5-75: 2013 ‘	2	39,31	4,72	34,99
	3	32,14	3,86	46,83
	5	24,05	2,89	60,19
	10	15,46	1,86	74,38
Експериментальний	0,58	60,50	7,26	0,00

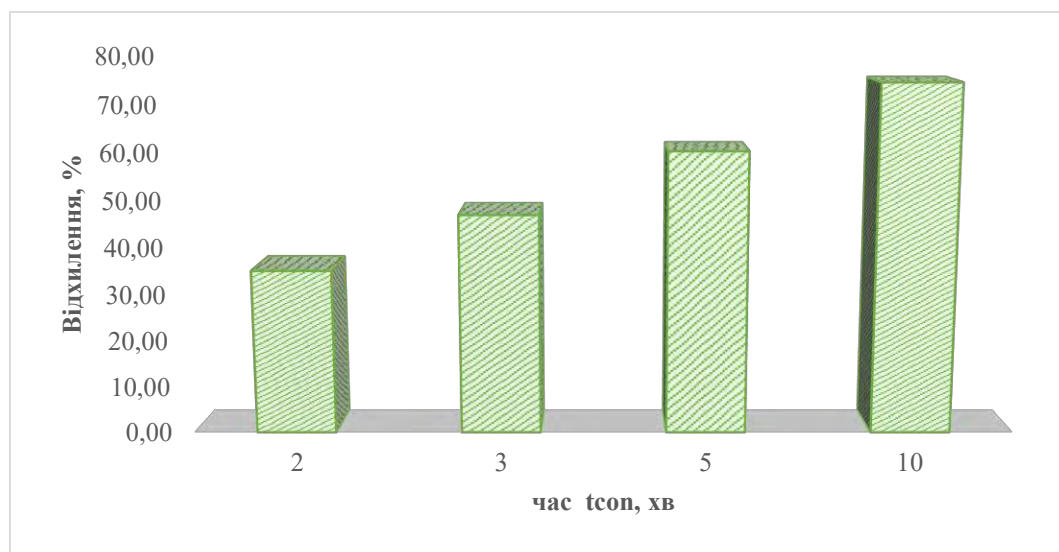


Рисунок 3.14 – Відхилення результатів розрахункової тривалості дощу у відсотках при значеннях тривалості поверхневої концентрації стоку прийнятої за [1]

Таблиця 3.12 – Абсолютне відхилення результатів теоретичних досліджень від практично отриманих результатів

№	Q мм/хв	$t_{1роз}$	$t_{2роз}$	$t_{1ек}$	$t_{2ек}$	Відхилення 1-ї діл. %	Відхилення 2-ї діл. %
1	0,9	29	36	27	35	7,41	2,86
2	0,61	46	59	49	62	6,12	4,84
3	0,47	39	49	43	51	9,30	3,92
4	0,32	68	86	64	84	6,25	2,38

У результаті проведених теоретичних досліджень, експериментів та аналітичних розрахунків, визначено величину абсолютної похибки у визначенні величини дощового стоку при застосуванні різних методів розрахунку тривалості формування поверхневої концентрації стоку. При величині розрахункової ділянки 100 м та ширині проїзної частини – 7,5 м отримали відхилення у визначенні розрахункової витрати в діапазоні 0,09 % до 38,65 % (табл. 3.11.)

На основі проведених досліджень, для визначення тривалості поверхневої концентрації стоку залежно від кліматичного районування [1] на автомобільних дорогах 1 категорії, рекомендується застосовувати дані, що наведені на рис. 2.5 [106].

3.4 Дослідження впливу системи поверхневого водовідведення на безпеку руху

Утримання автомобільної дороги та смуги відведення є невід’ємною частиною експлуатації автомобільної дороги, саме тому, при проєктуванні її ділянок, поряд із основними розрахунками, потрібно виконувати детальний аналіз варіантів влаштування водовідведення. Оскільки, в подальшому, при експлуатаційному утриманні автомобільної дороги потрібне постійне обслуговування систем водовідведення [76, 82] для забезпечення її безперебійної роботи з відведення поверхневих вод, які поступають з проїзної частини. Осідання забруднень [1] в системах водовідведення відбувається при швидкості стоку 0,4 м/с. Враховуючи недоліки вітчизняних методів оцінки пропускної здатності лотків водовідведення (підрозділ 3.2), а саме значну погрішність у результатах розрахунку стоку, виникає необхідність в експериментальній перевірці пропускної здатності при імітації натурних умов, для визначення якісних показників водовідвідних каналів.

При проєктуванні лоткового кналу гідравлічний розрахунок виконують для оцінки ефективності його роботи при розрахунковому дощі певної періодичності, однак, не враховують, що 70 % загально річних опадів це дрібні дощі [1]. При виборі лоткової лінійної системи потрібно також враховувати її ефективне функціонування та мінімальне засмічення при невеликих опадах. Величина засмічення залежить від швидкості руху стоків. Тому при проєктуванні поверхневого водовідведення перевага має надаватись системам, в яких формується більша швидкість (рис. 3.15.)

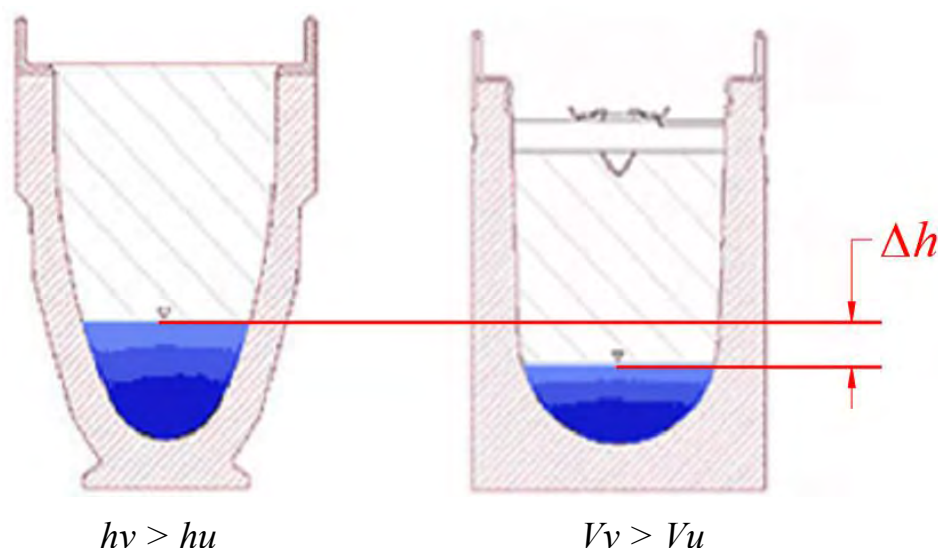
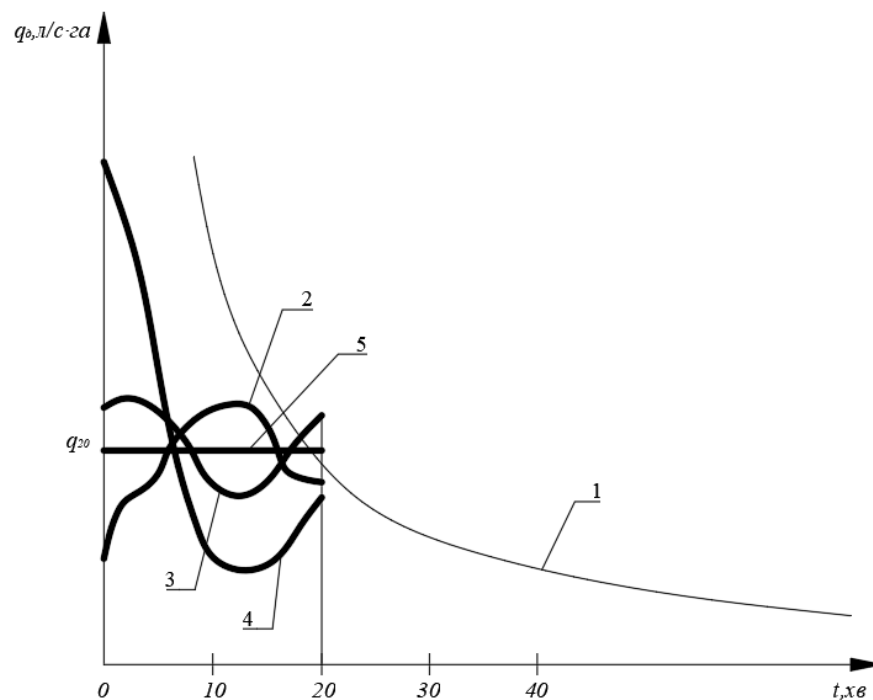


Рисунок 3.15 – Швидкість у водовідвідних каналах

Транспортний потік формується під впливом економічних, соціальних, культурних та інших сфер діяльності суспільства. Вирішення питання забезпечення та підвищення безпеки руху відповідно до [128, 137] розглядають як систему «дорожні умови – транспортні потоки – середовище». Автори стверджують, що середовище не підлягає впливу. Однак помилково стверджувати, що не існує заходів, які зменшують вплив погодних факторів та застосовуються для безпеки руху.

Питання безпеки руху в Україні регулюється стандартами та рекомендаціями [104, 122, 137], а також даному питанню присвячено чимало наукових праць [90, 161-167]. Одним з факторів, який впливає на безпеку руху є аквапланування.

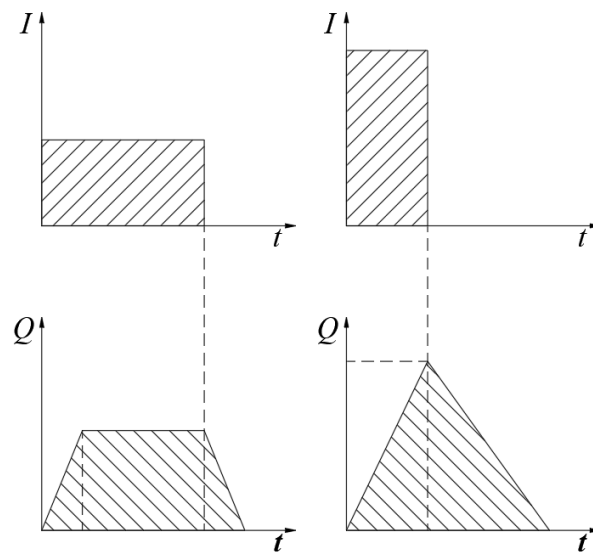
Питання аквапланування досліджується як зменшення зчіпних якостей автомобільного колеса з вологим покриттям [19, 89, 97, 173]. Визначення зчіпних властивостей колеса автомобіля з вологим покриттям визначають з урахуванням зволоження покриття 1 л/м^2 , при шарі 1 мм води на покритті. Вплив розрахункової тривалості дощу та його змінної інтенсивності на безпеку руху автомобілів виражається у виявленні явища аквапланування або надлишкового стоку. В залежності від інтенсивності дощу в часі (рис. 3.16) доцільно визначати, якого типу опади будуть становити небезпеку для учасників руху.



1 – крива граничної інтенсивності; 2, 3, 4, 5 – графіки зміни в часі інтенсивності випадання дощу з $q_0 = q_{20}$

Рисунок 3.16 – Взаємозв'язок між середньою в часі інтенсивністю дощу та граничною інтенсивністю [80]

Формування стоку залежить від інтенсивності та тривалості опадів (рис. 3.17). У гідрометеорології розрізняють п'ять основних типів випадання дощів: з максимумом інтенсивності на початку, з максимумом у середній частині, з максимумом під кінець дощу, з рівномірною інтенсивністю та з мінімумом в середній частині [80]. Найчастіше трапляються дощі з максимальною інтенсивністю на початку, тому вони і прийняті за основу у всіх гідравлічних розрахунках. Однак при визначенні впливу на безпеку руху автомобільного транспорту найбільш небезпечнішим є дощ з максимумом в кінці, так як змочування поверхні відбувається малоінтенсивною частиною дощу, а покриття автомобільних доріг є водонепроникними [1], то стік буде відповідати інтенсивності.



I – інтенсивність опадів мм/хв, Q – витрата стоку л/с; t – тривалість дощу, хв

Рисунок 3.17 – Залежності формування стоку від інтенсивності дощу [113]

Малоінтенсивні опади не несуть загрози, характеризуються утворенням незначного, але довготривалого поверхневого стоку й практично не впливають на безпеку руху, а інтенсивні опади характеризуються малою тривалістю та утворенням пікового поверхневого стоку, що становить загрозу безпеці учасників дорожнього руху.

У результаті на ділянках автомобільних доріг з відсутнім або недосконалим водовідведенням буде відбуватись затоплення (рис. 3.18).



а)

б)

а – ділянка автомобільної дороги Р-69; б – ділянка автомобільної дороги Р-02

Рисунок 3.18 – Ділянки доріг з неналежним водовідведенням

Основною причиною утворення надлишкового стоку на покритті є відсутність ефективної системи водовідведення – початкові стоки, які стікають на узбіччя фільтруються, решта накопичується та створює перешкоду для відведення стоку проїзної частини, що в результаті призводить до затоплення.

Для визначення частоти затоплення проїзної частини розглянемо статистичні дані деяких регіонів України. Згідно до статистичних даних українського гідрометеорологічного центру у Вінницькій області за останні 20 зафіксовано метеорологічні явища: надзвичайний дощ, надзвичайна злива, сильний дощ та сильна злива (табл. 3.13).

Таблиця 3.13 – Дані гідрометеорологічного центру у Вінницькій області

Назва пункту	Явище	Кількість опадів, мм	Тривалість	Q, мм/хв	Дата
Хмільник	Сильна злива	31	1 год	0,5	28.06.1999
Білопілля	Сильна злива	40	15 хв	2,7	24.06.2002
Жмеринка	Сильний дощ	65	5 год	-	12.08.2002
Могилів- Подільський	Сильний дощ	68	7 год	-	12-13.08.2002
Могилів- Подільський	Надзвичайний дощ	106	4 год 40 хв	-	03.07.2003
Хмільник	Надзвичайна злива	53	1 год	0,9	26.07.2004
Хмільник	Сильний дощ	76	3 год	-	30.07.2004
Білопілля	Сильна злива	34	15 хв	2,3	01.08.2004
Вінниця	Сильний дощ	50	1 год 45 хв	-	01.08.2004
Вінниця	Сильний дощ	59	5 год	-	22.08.2004
Хмільник	Сильний дощ	55	7 год 20 хв	-	18.08.2005
Білопілля	Сильний дощ	74	3 год	-	01.08.2005
Вінниця	Сильний дощ	63	8 год 20 хв	-	04-05.06.2006
Хмільник	Сильна злива	42	1 год	0,7	30.07.2006
Хмільник	Сильний дощ	74	10 год 25 хв		19.08.2007
Могилів- Подільський	Сильний дощ	73	11 год		23-24.07.2008
Могилів- Подільський	Сильний дощ	76	12 год		25-26.07.2008
Могилів- Подільський	Надзвичайна злива	58	1 год	1	16.05.2009
Хмільник	Сильний дощ	55	12 год	-	02-03.06.2009
Хмільник	Надзвичайний дощ	87*	12 год	-	13.10.2009
Хмільник	Сильний дощ	59	6 год	-	14.10.2009
Могилів- Подільський	Надзвичайний дощ	93	10 год 05 хв	-	29-30.06.2010
Могилів- Подільський	Сильний дощ	62	12 год	-	10.07.2010
Хмільник	Сильний дощ	54	6 год	-	23-24.06.2011
Гайсин	Сильна злива	33	1 год	0,6	15.07.2012
Білопілля	Надзвичайний дощ	96	5 год 23 хв	-	14.06.2018
Хмільник	Сильний дощ	53	11 год 04 хв	-	23.07.2018

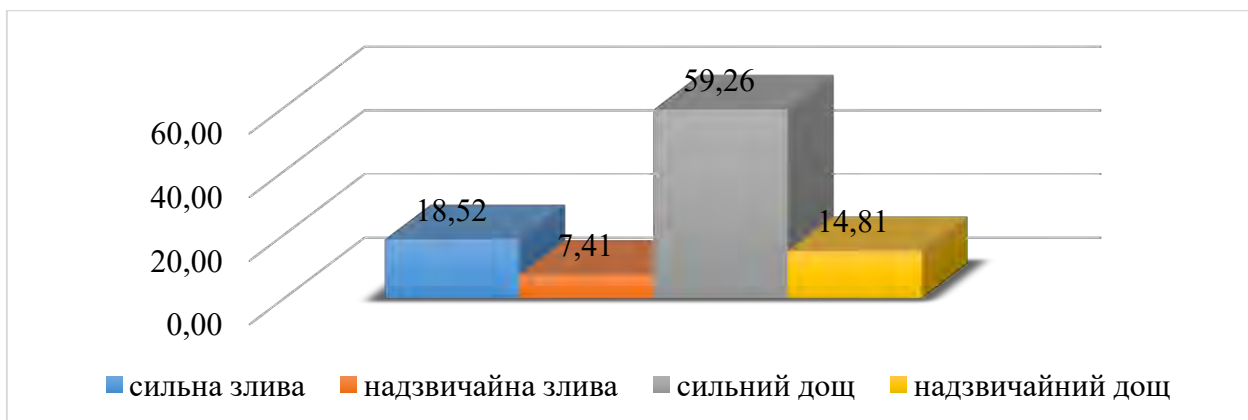


Рисунок 3.19 – Імовірність метеорологічних явищ серед надзвичайних ситуацій природного походження, на прикладі Вінницької області

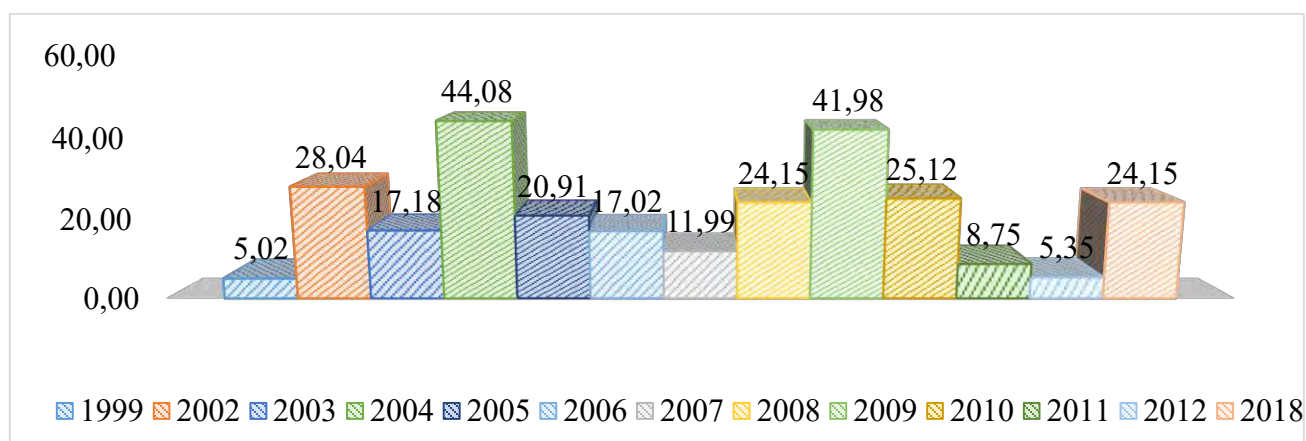


Рисунок 3.20 – Частка надзвичайних метеорологічних явищ у загальній кількості річних опадів, на прикладі Вінницької області

Опади, які характеризуються великою тривалістю та класифікуються як сильний або надзвичайний дощ, а також опади з великою інтенсивністю інтенсивний дощ – надзвичайна злива при відсутності належного водовідведення на автомобільних дорогах несуть загрозу здоров'ю та безпеці учасників руху. Питання безпеки руху регламентується [104].

Розроблений теоретичний метод розрахунку проєктування поверхневого водовідведення, дієвість якого підтверджена експериментально, та запропоновані заходи покликані виключити (знижити) негативний вплив застою води на проїзній частині автомобільної дороги на безпеку дорожнього руху.

Висновки до розділу 3

Проведення натурних досліджень на ділянках автомобільних доріг дозволило дослідити процеси формування поверхневого стоку. Встановлено підходи до визначення тривалості формування поверхневого стоку на ділянках з різноманітними кліматичними умовами.

Проведення досліджень пропускнуої здатності лоткових водовідвідних каналів дозволило виділити складові впливу на процес формування потоку в лотку: гальмування потоку в каналі за рахунок надходження стоку через решітку; накопичувальний характер роботи водовідвідних каналів, та вплив довжини лінії на загальний результат роботи в цілому, а не окремого одиничного елемента; імпульс стоку, який потрапляє в канал при опадах малої інтенсивності; фактор змочування, який зменшує даний опір; змінна швидкість в водовідвідному каналі в залежності від довжини лінії водовідвідних каналів.

Виконано теоретичну перевірку отриманих залежностей формування поверхневого стоку шляхом порівняльного аналізу отриманих результатів з результатами розрахунків за відомими емпіричними та напівемпіричними методами.

Отримані у дисертаційній роботі результати можуть бути використані для моделювання та виконання розрахунків поверхневого стоку від різних метеорологічних явищ на мережі автомобільних доріг.

Основні результати досліджень третього розділу висвітлено в роботах автора: [149, 174, 196].

РОЗДІЛ 4

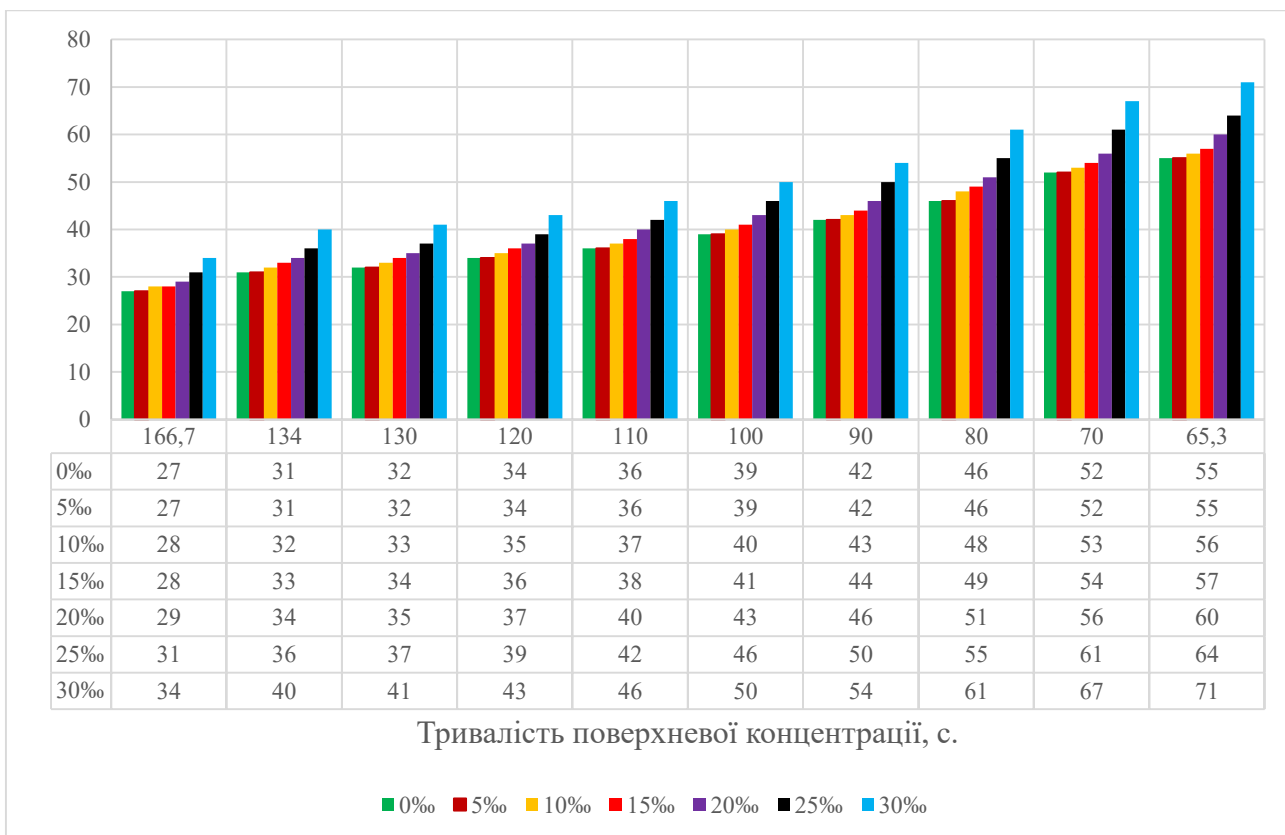
ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Рекомендації з комплексного підвищення точності гідравлічних розрахунків системи поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг

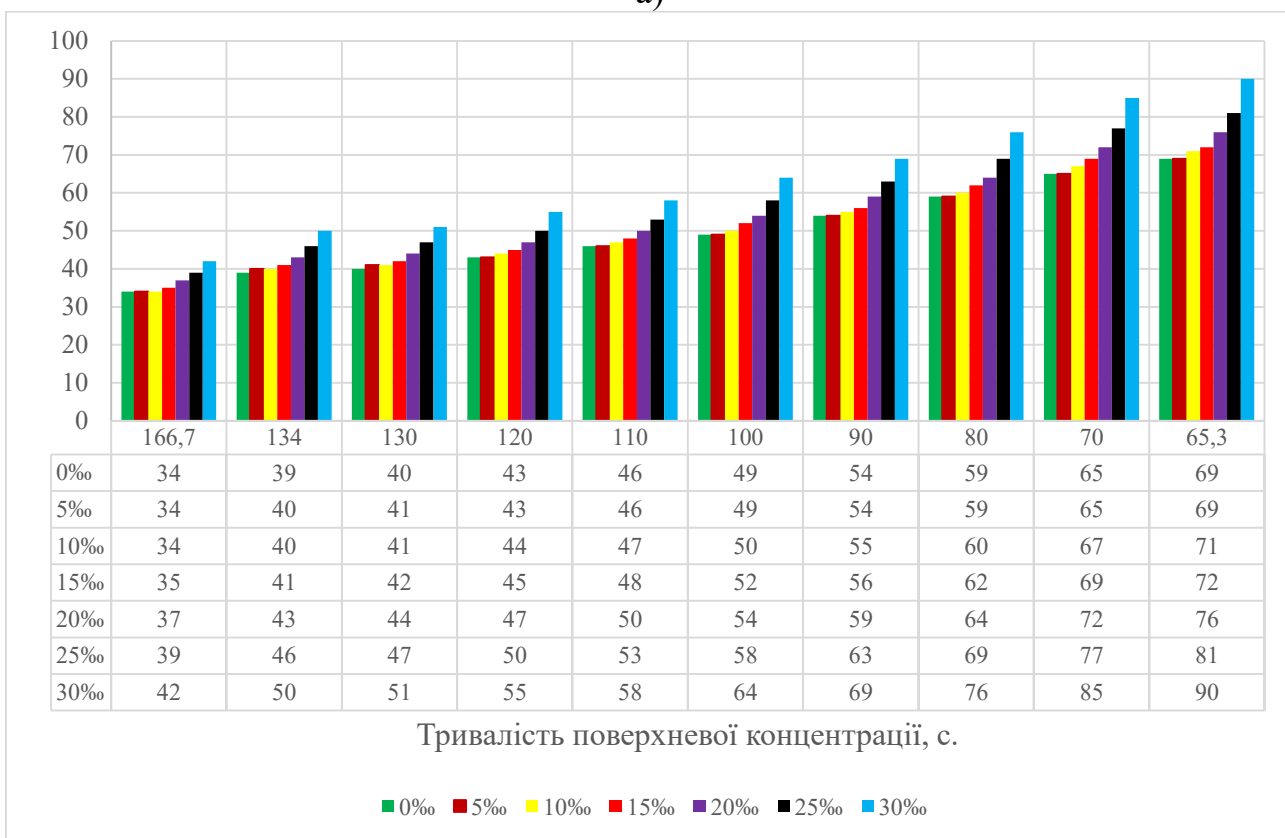
Гідравлічний розрахунок каналізаційних мереж, в тому числі і водовідвідних каналів базується на методі граничних інтенсивностей. Одним із факторів впливу на результати розрахунків витрати стоків є тривалість розрахункового дощу. На практиці існує фактично виражена закономірність чим менша тривалість дощу тим більша інтенсивність опадів. Згідно з [1] діапазон тривалості поверхневої концентрації стоку від 2 хв до 10 хв, користуючись яким отримаємо значні відхилення. Встановлено, що водозбірні басейни автомобільних доріг характеризуються досить не значними значеннями формування поверхневого стоку від 27 с до 89 с (рис. 2.5), з урахуванням інтенсивності опадів та розрахункового похилу водозбірного басейну, враховуючи розрахунковий похил автомобільної дороги (2.85) та фактичну розрахункову площу водозбірного басейну (2.89).

Для виконання гідравлічного розрахунку лінійних у плані водозбірних басейнів визначаємо вихідні параметри:

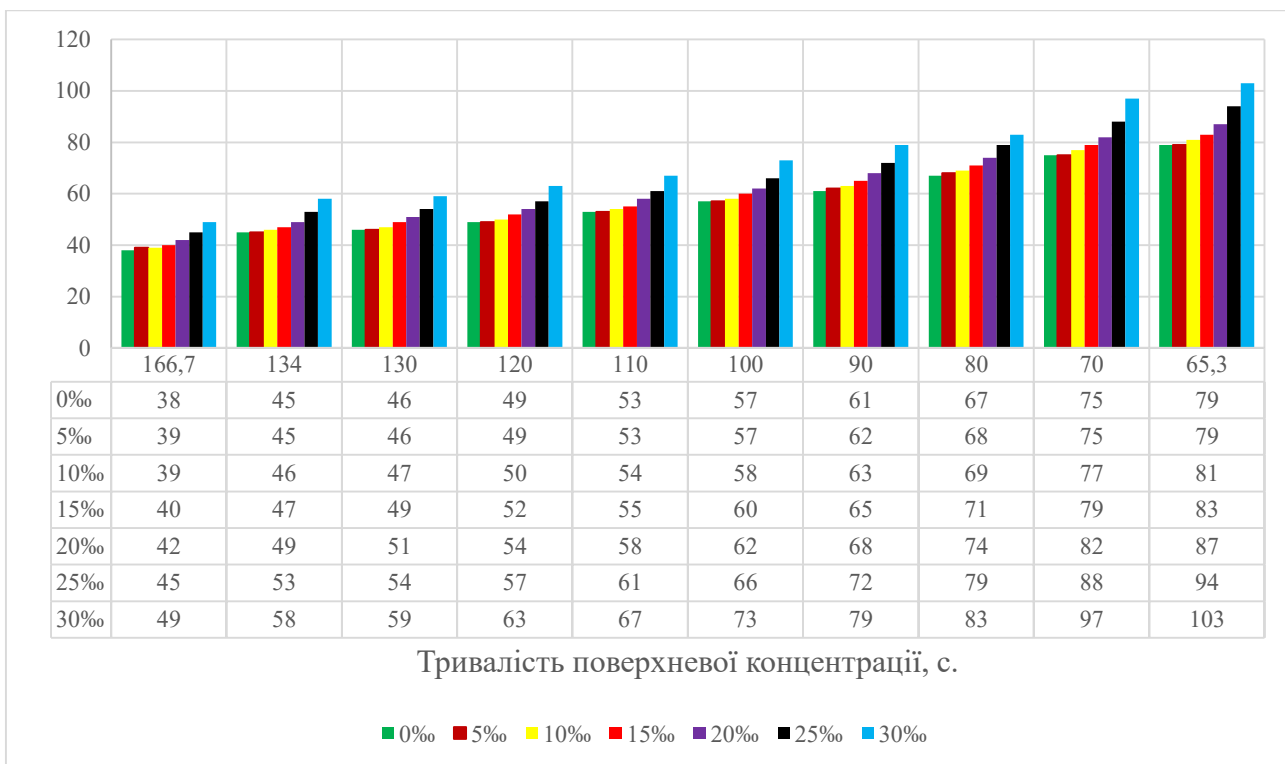
- габаритні розміри водозбірного басейну: ширина та довжина, м;
- визначаємо поздовжній та поперечний похили водозбірного басейну, ‰;
- визначаємо розрахункові параметри похил та ширину водозбірного басейну за формулами (2.85) і (2.89);
- з додатку А [1] відповідно до географічного розташування водозбірного басейну приймаємо розрахункові параметри;
- з урахуванням інтенсивності опадів розрахункового регіону (рис. 4.1) визначаємо тривалість формування поверхневого стоку.



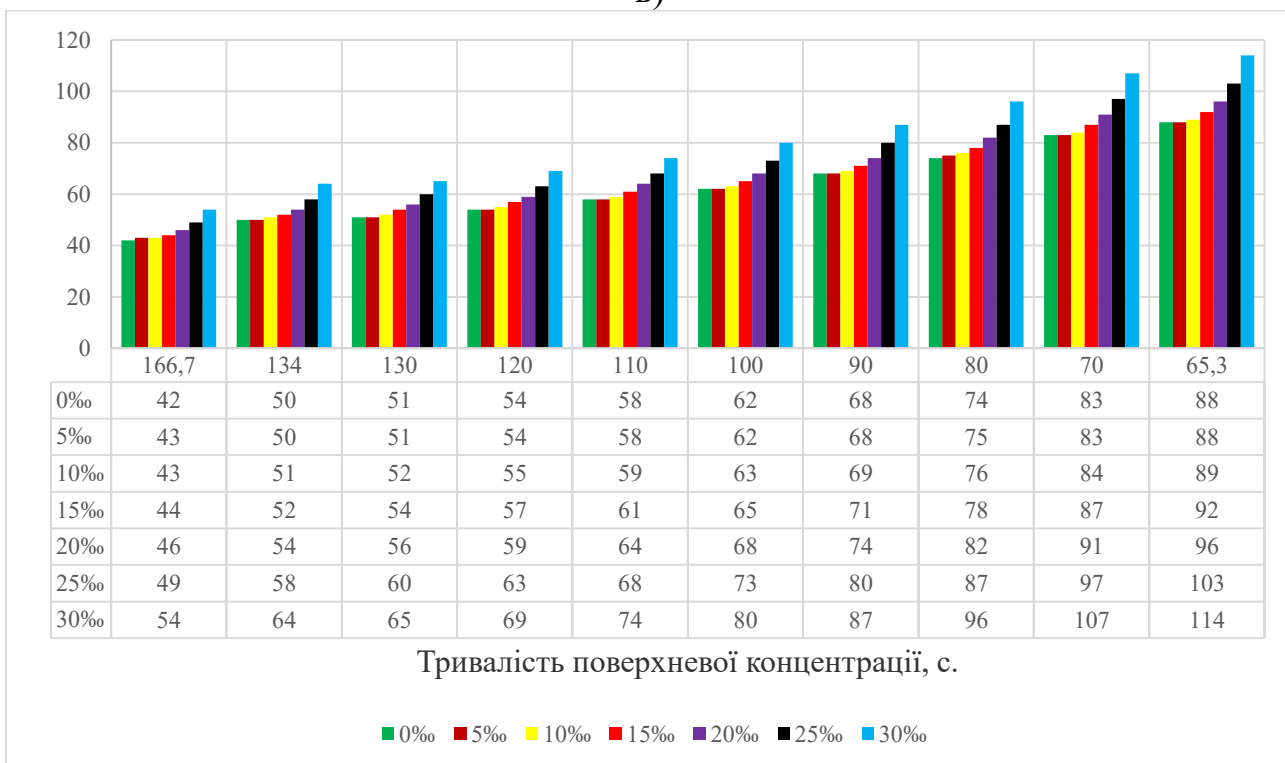
а)



б)



в)



г)

а) – при $b=3,75$ м; б) – при $b=7,5$ м; в) – при $b=11,25$ м; г) – при $b=15,0$ мРисунок 4.1 – Залежність t_{con} від q_{20} та поздовжнього похилу автомобільної дороги

– розрахунок тривалості дотікання стоку розрахунковим каналом визначаємо за формулою (4.1):

$$t_{can} = \int_0^{L_{can}} \frac{dx}{V_{can}(x)}, \quad (4.1)$$

де t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв;

L_{can} – довжина лотків, м;

V_{can} – швидкість протікання води по лотках, м/с.

За рахунок введення вищенаведених рекомендацій досягається покращити точність результатів розрахунків та спростити визначення витрати, що стікають з територій лінійного в плані водозбірного басейну.

4.2 Методики гідравлічного розрахунку системи поверхневого водовідведення

4.2.1 Методика гідравлічного розрахунку системи поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг

Методика гідравлічного розрахунку системи поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг полягає в послідовному виконанні розрахунків і встановленні основних параметрів впливу:

1. Визначають площу водозбірного басейну з урахуванням прилеглих підвищень, стоки з яких надходять до розрахункового басейну.
2. Визначають розрахунковий похил водозбірного басейну:

$$i_{роз} = \sqrt{i_{поп}^2 + i_{пов}^2}, \quad (4.2)$$

де $i_{нов}$ – поздовжній похил проїзної частини, ‰;

i_{non} – поперечний похил проїзної частини, ‰;

та розрахункову ширину водозбірного басейну:

$$B_{роз} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{i_{пов}}{i_{поп}} \cdot b\right)^2}, \quad (4.3)$$

де b – це ширина проїзної частини автомобільної дороги, м.

3. Визначають витрати поверхневих стоків (можна виконувати за методом граничних інтенсивностей).

4. Визначають вихідні параметри дощу залежно від кліматичного районування України.

5. Визначають параметри A і n та інші розрахункові дані. Визначають за результатами оброблення записів самописних дощомірів, зареєстрованих у конкретному населеному пункті, а за відсутності даних розраховують за формулою [1]:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r}\right)^n, \quad (4.4)$$

де A і n – параметри, які залежать від кліматичних особливостей регіону, при періоді одноразового перевищення P ;

q_{20} – інтенсивність дощу, (л/с)·га, тривалістю 20 хв при $P=1$ рік;

P – період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу, рік;

m_r – середня кількість дощів за рік.

6. Розраховують тривалість розрахункового дощу за формулою:

$$t_r = t_{con} + t_{can}, \quad (4.5)$$

де t_{con} – час поверхневої концентрації стоку, хв;

t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв.

7. Тривалість формування поверхневого стоку визначають за даними рис. 4.1 залежно від q_{20} та поздовжнього похилу автомобільної дороги.

8. Розраховують тривалість дотікання по розрахунковому каналу за формулою:

$$t_{can} = \int_0^{L_{can}} \frac{dx}{V_{can}(x)}, \quad (4.6)$$

де t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв;

L_{can} – довжина лотків, м;

V_{can} – швидкість протікання води по лотках, м/с.

9. Коефіцієнт, що враховує тривалість дощу [1], приймають при тривалості дощу більше 10 хв таким, що рівний 1, при тривалості до 10 хв визначають за формулою:

$$m = 0,457 \cdot t_r^{0.34}, \quad (4.7)$$

де m – коефіцієнт, що враховує тривалість дощу;

t_r – розрахункова тривалість дощу, що дорівнює часовій концентрації поверхневого стоку для даного перерізу, хв.

10. Розраховують витрату дощових вод [1], л/с, за формулою:

$$q_r = \frac{z_{mid} A^{1.2} F}{t_r^{1.2n-0.1}} \eta \cdot m, \quad (4.8)$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта, який характеризує поверхню басейну стоку;

F – загальна площа басейну стоку, га;

η – коефіцієнт, що враховує нерівномірність випадання дощу.

11. Пропорційно розрахунковій ширині при зміні поздовжнього похилу ділянки водозбірного басейну визначають витрату стоку, що припадає на кожен елемент поверхневого водовідведення.

12. Враховуючи величину стоку в одному елементі поверхневого водовідведення, визначають швидкість руху стоків та наповнення кожного елементу. Пропускню здатність визначають залежно від геометричних параметрів системи та поздовжнього похилу лінії водовідвідних каналів. При забезпечені пропускної здатності на рівні 80 % при розрахунковому дощу приймають водозбірний канал заданих параметрів.

Серед відомих гідравлічних комплексів, які описують пропускну здатність систем водовідведення найточнішим є програмний комплекс «Hydraulics V3.1.1» при застосуванні інших розрахункових методів рекомендовано слідувати вимогам [1] щодо наповнення, в протилежному випадку слід вводити знижуючі коефіцієнти, які отримані в ході виконання дисертаційного дослідження, відповідно до даних таблиці 3.6.

4.2.2 Методика гідравлічного розрахунку системи поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг для розрахунку локальних очисних споруд

Очищення забрудненого дощового стоку з урбанізованих територій слід виконувати залежно від оцінки величини впливу забруднюючих речовин. Забруднений дощовий стік з автомобільних доріг характеризується вмістом завислих речовин, нафтопродуктів та важких металів, тому для кожного з видів забруднення приймаються відповідні локальні очисні споруди (рис. 4.2).

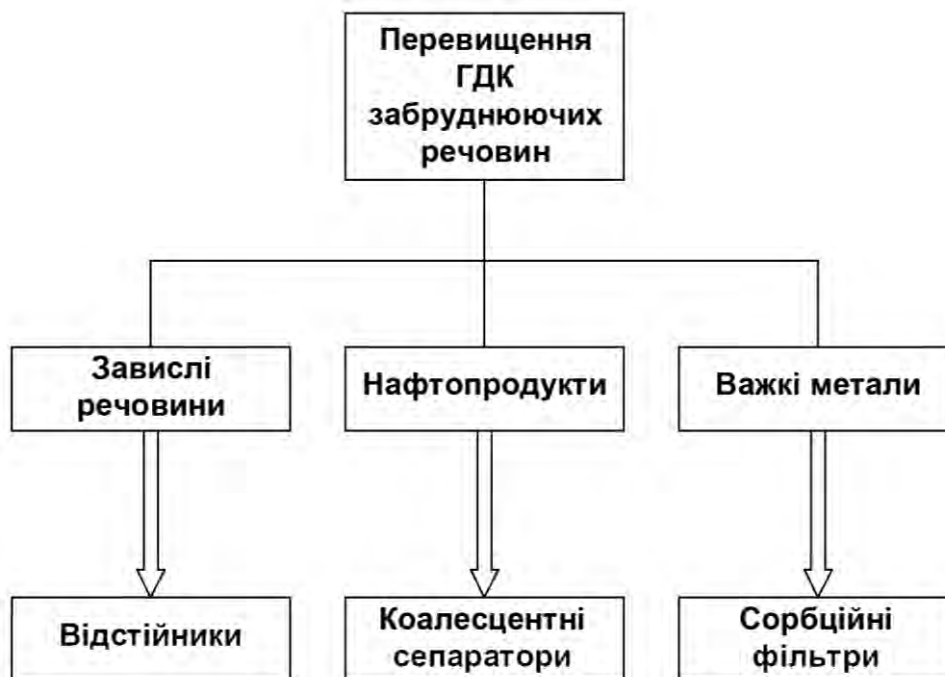


Рисунок 4.2 – Споруди для очищення від забруднюючих речовин дощового стоку

Розрахунок локальних очисних споруд при проєктуванні, як і водозбірних каналів, виконують за методом граничних інтенсивностей:

1. Визначають площу водозбірного басейну з урахуванням прилеглих підвищень, стоки з яких надходять до розрахункового басейну.
2. Визначають розрахунковий похил водозбірного басейну:

$$i_{\text{роз}} = \sqrt{i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{пов}}^2}.$$

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

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

та розрахункову ширину водозбірного басейну:

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

де b – це ширина проїзної частини автомобільної дороги, м.

3. Визначають витрати поверхневих стоків (можна виконувати за методом граничних інтенсивностей).

4. Визначають вихідні параметри дощу залежно від кліматичного районування України.

5. Визначають параметри A і n та інші розрахункові дані. Визначають за результатами оброблення записів самописних дощомірів, зареєстрованих у конкретному населеному пункті, а за відсутності даних розраховують за формулою [1]:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r}\right)^{\gamma},$$

де A і n – параметри, які залежать від кліматичних особливостей регіону, при періоді одноразового перевищення P ;

q_{20} – інтенсивність дощу, (л/с)·га, тривалістю 20 хв при $P=1$ рік;

P – період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу, рік;

m_r – середня кількість дощів за рік.

6. Розраховують тривалість розрахункового дощу за формулою:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (4.9)$$

де t_{con} – тривалість поверхневої концентрації стоку, хв;

t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв;

t_p – тривалість протікання дощових вод по трубах розрахункового перерізу, визначається, хв, згідно додатку А [1].

7. Тривалість формування поверхневого стоку визначають за даними рис. 4.1 залежно від q_{20} та поздовжнього похилу автомобільної дороги.

8. Розраховують тривалість дотікання по розрахунковому каналу за формулою:

$$t_{can} = \int_0^{L_{can}} \frac{dx}{V_{can}(x)},$$

де t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв;

L_{can} – довжина лотків, м;

V_{can} – швидкість протікання води по лотках, м/с.

9. Коефіцієнт, що враховує тривалість дощу [1], приймають при тривалості дощу більше 10 хв таким, що рівний 1, при тривалості до 10 хв визначають за формулою:

$$m = 0,457 \cdot t_r^{0.34},$$

де m – коефіцієнт, що враховує тривалість дощу;

t_r – розрахункова тривалість дощу, що дорівнює часовій концентрації поверхневого стоку для даного перерізу, хв.

10. Розраховують витрату дощових вод [1], л/с, за формулою:

$$q_r = \frac{z_{mid} A^{1.2} F}{t_r^{1.2n-0.1}} \eta \cdot m,$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта, який характеризує поверхню басейну стоку;

F – загальна площа басейну стоку, га;

η – коефіцієнт, що враховує нерівномірність випадання дощу.

11. Розраховують величину стоку, яка попадає на очищення:

$$q_{lim} = q_r \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (4.10)$$

де k_1 та k_2 – коефіцієнти, що враховують зміну параметрів стоку [1].

12. За потреби виконують розрахунки на можливе відведення талого стоку з покриття автомобільних доріг. Визначення шару стоку виконують згідно з [1] та з використанням кліматичних показників [115]:

$$q_{th} = \frac{5.5h_{th} \cdot k_{tid} \cdot F \cdot \Psi_{th}}{10 + t_{\gamma}}, \quad (4.11)$$

де h_{th} – шар стоку за 10 денних годин, мм рекомендується визначати за конкретними даними метеоспостережень залежно від граничного періоду перевищення P , а за відсутності даних для I, III, V кліматичних районів України [1, 115] можна приймати $h_{th} = 25$ мм, для II і IV районів – 7 мм, у граничних районах шириною до 20 км можна приймати значення – 16 мм;

k_{tid} – коефіцієнт, який враховує часткове прибирання та вивезення снігу;

F – площа водозбірного басейну, га;

Ψ_{th} – коефіцієнт стоку талих вод (приймають 0,5-0,7);

t_{γ} – тривалість стікання талих вод від геометричного центра водозбірної площі до розрахункової ділянки, год.

Приклад розрахунку локальної очисної споруди наведено на рисунку 4.3.

РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ СПОРУДАСО

Вихідні дані для розрахунку очисних споруд дощової каналізації

Місце розташування об'єкта будівництва

Донецьк

Назва об'єкту будівництва

Дорога

Характеристика водозбірних басейнів

Водонепроникні поверхні (покрівлі будівель і споруд, асфальтобетонні покриття доріг)	F_1	15458	M^2
Бруштата бруківка та чорні щебеневі покриття доріг	F_2	0	M^2
Бруківки	F_3	0	M^2
Щебеневі покриття, не оброблені в'язкими речовинами	F_4	0	M^2
Гравійні садово-паркові доріжки	F_5	0	M^2
Грунтові поверхні (сплановані)	F_6	0	M^2
Газони	F_7	0	M^2

Витрату дощових вод q_r , л/с визначаємо за методом граничних інтенсивностей

$$q_r = \frac{z_{mid}}{t_r^{1.2n-0.1}} \cdot A^{1.2} \cdot F \cdot \eta \cdot m$$

де, F - **1.55** розрахункова площа водозбору, га (п. А4 згідно ДБН В.2.5-75:2013)

Z_{mid} середнє значення коефіцієнта покриття, що характеризує поверхню басейну стоку, визначається згідно (п. А7 згідно ДБН В.2.5-75:2013), $Z_{mid} =$ **0.270**

A , n параметри, що визначаються згідно А.2

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^r,$$

q_{20} інтенсивність дощу, л/с на 1 га, тривалістю 20 хв для даної місцевості при $P=1$ рік, яка приймається згідно з таблицею А1

Донецьк $q_{20} =$ **97.4** л/с

n **0.7** показник ступеня, який приймається згідно з таблицею А.1

m_r **120** середня кількість опадів за рік, згідно з таблицею А.1

P **1** період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності опадів, який приймається згідно з А.3

r **1.82** показник ступеня, який приймається згідно з таблицею А.1

$$A = 793.01 \quad A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^r,$$

η **1** коефіцієнт, що враховує нерівномірності випадання дощу по площі, згідно п.4 таблиця А.5

m **0.98** коефіцієнт, що враховує тривалість дощу, приймається при тривалості дощу більше 10хв таким, що дорівнює одиниці, при тривалості від 2хв до 10хв визначається за формулою:

$$m = 0.457 \cdot t_r^{0.34}$$

t_r **9.39** розрахункова тривалість дощу, що дорівнює сумі тривалості протікання поверхневих вод по поверхні, лотках та трубах до розрахункової ділянки, хв, визначається згідно з А.5

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p$$

t_{con} **2.00** тривалість протікання дощових вод до вуличного лотка, у межах кварталу - до вуличного колектора (час поверхневої концентрації), хв, визначається згідно з А.6

t_{can} **7.18** тривалість протікання дощових вод по вуличних лотках t_{can} , хв, можна визначити за формулою:

$$t_{can} = 0.021 \sum \frac{l_{can}}{v_{can}},$$

де, l_{can} **342** довжина ділянки лотків, м

v_{can} **1** розрахункова швидкість на ділянці, м/с

t_p **0.20** тривалість протікання дощових вод по трубах до розрахункового перерізу t_p , хв, можна визначити за формулою:

$$t_p = 0.017 \sum \frac{l_p}{v_p},$$

q_r **234.73** Витрату дощових вод q_r , л/с

Витрату стоку від граничного дощу q_{lim} , що направляється на очищення, допускається визначати за даними додатка А за формулою (А.1) при періоді одноразового перевищення інтенсивності граничного дощу P від 0,05 до 0,1 року (що забезпечує відведення на очищення не менше ніж 70 % річного об'єму поверхневих стічних вод), приймаючи коефіцієнт $\beta = 1$.

Зазначені значення P допускається уточнювати з урахуванням вимог до якості води водного об'єкта - приймальника дощових стічних вод.

Визначення q_{lim} допускається робити спрощеним способом за формулою:

$$q_{lim} = q_r \cdot k_1 \cdot k_2$$

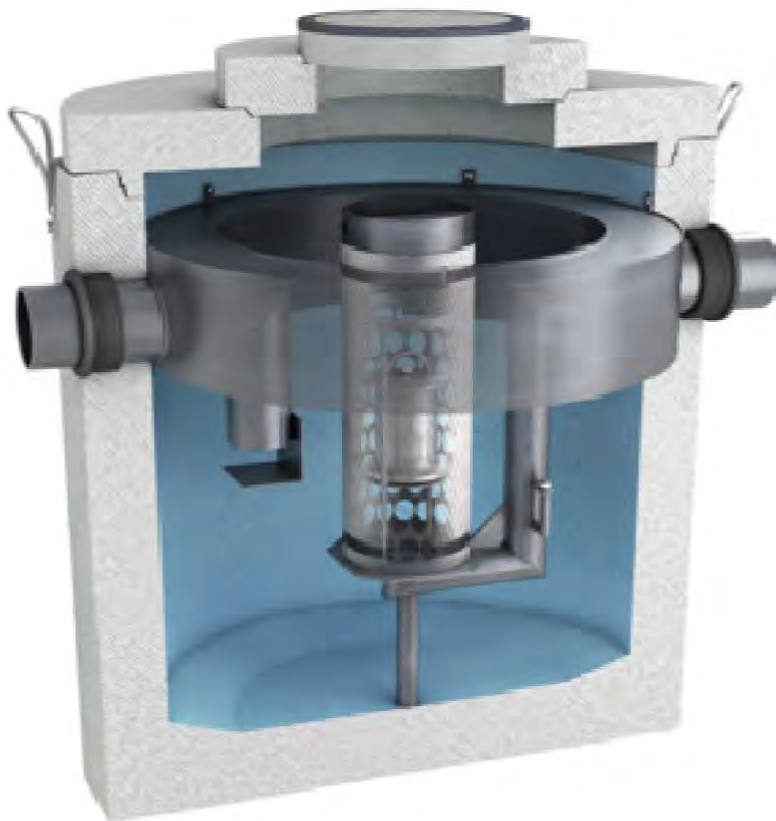
Clim **0.85** географічний параметр, що характеризує імовірність інтенсивності опадів, рисунок 1
k1, k2 коефіцієнти, що враховують зміну параметрів стоку при зменшенні значення P , прийнятого при розрахунку дошової мережі

k1 **0.12** приймається згідно з таблицею 3

k2 **1.00** приймається згідно з таблицею 4

qlim **28.17**

Згідно розрахунку приймаємо сепаратор нафтопродуктів продуктивністю **30** л/с



Розрахунок очисних споруд виконано відповідно до вимог ДБН В.2.5-75:2013 КАНАЛІЗАЦІЯ. ЗОВНІШНІ МЕРЕЖІ ТА СПОРУДИ. Основні положення проектування

Рисунок 4.3 – Приклад гідравлічного розрахунку локальних очисних споруд

В залежності від обраної технології очищення від завислих речовин можливе додаткове введення від місця відведення очищеного стоку визначається потреба у додатковому обладнанні для досягнення необхідних показників очищенню дощового стоку від нафтопродуктів, завислих речовин та важких металів.

4.3 Санітарно-технічні рішення для доріг різних категорій

Склад стоків з поверхні автомобільних доріг сформований за рахунок осідання викидів від роботи двигунів автомобілів, пилу, продуктів зносу покриттів, шин і гальмівних колодок. Окрім забруднюючих речовин від руху транспортних засобів у стоках талих вод концентруються матеріали, що використовуються для боротьби з ожеледицею [17, 18, 79, 85]. Однак, найбільшу екологічну небезпеку в складі стічних вод являють собою нафтопродукти, до складу яких входять циклічні та ароматичні сполуки, кетони, альдегіди та інші органічні речовини. Негативний вплив поверхневого стоку з автомобільних доріг на навколишнє середовище пов'язаний також за рахунок вмісту в стічних водах зважених речовин різної природи і з'єднань. За даним багаторічних досліджень якості забруднень зливового стоку міст коливається в наступних межах [133]: зважені речовини – 470 - 2460 мг/л; нафтопродукти – 2 - 63 мг/л.

Частки металів автотранспортного походження надходять на поверхню ґрунту та включаються в процеси ґрунтоутворення, поглинаються рослинами, виносяться поверхневими і ґрунтовими стоками. У результаті вказаних процесів вздовж автомобільних доріг формуються геохімічні аномалії важких металів. Так, при фоновому вмісті цинку в чистих ґрунтах від 30 мг/кг до 220 мг/кг поблизу автомобільної дороги, вміст цинку може становити до 400 мг/кг. Час перебування забруднюючих речовин у ґрунтах набагато більша, ніж в атмосфері або гідросфері. Важкі метали, що накопичуються в ґрунті, можуть бути винесені з нього при ерозії, дефляції, вилуговуванні та засвоєнні біотою. Період напіввиведення важких

металів із ґрунтів у середньому становить: для *Pb* – від 740 до 5 900 років, для *Cr* – від 13 до 100 років, *Cu* – від 310 до 1500 років [172]. Основними джерелами хімічного техногенного впливу в районі придорожньої смуги є: викиди пилу і газоподібних речовин, що містяться у відпрацьованих газах двигунів; пилоподібні викиди, що утворюються у наслідок тертя коліс автомобілів об дорожнє покриття; хімічні речовини, що використовуються для боротьби зі снігом і льодом на дорогах; викиди нафтопродуктів у процесі експлуатації автомобільних доріг.

Ефективність використання капіталовкладень в мережу автомобільних доріг, залежить від забезпечення довговічності, надійності та збереженню транспортно-експлуатаційних показників протягом розрахункового терміну. Протягом останніх 10 років в Україні активно проводяться дослідження впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище [10, 27, 74, 84, 109, 143, 144, 156, 160]. Для раціонального впровадження санітарно-технічних рішень на автомобільних дорогах необхідно впровадження обґрунтованих критеріїв їх застосування. Величина забруднення прямопропорційна вантажонапруженості автомобільних доріг, стан покриття та швидкість руху також впливають на величину забруднення придорожного середовища (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Класифікація санітарно-технічних рішень

Основні критерії вибору ділянок для влаштування санітарно-технічних рішень: наявність мостів; інтенсивність руху авто/добу; 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 4.5).

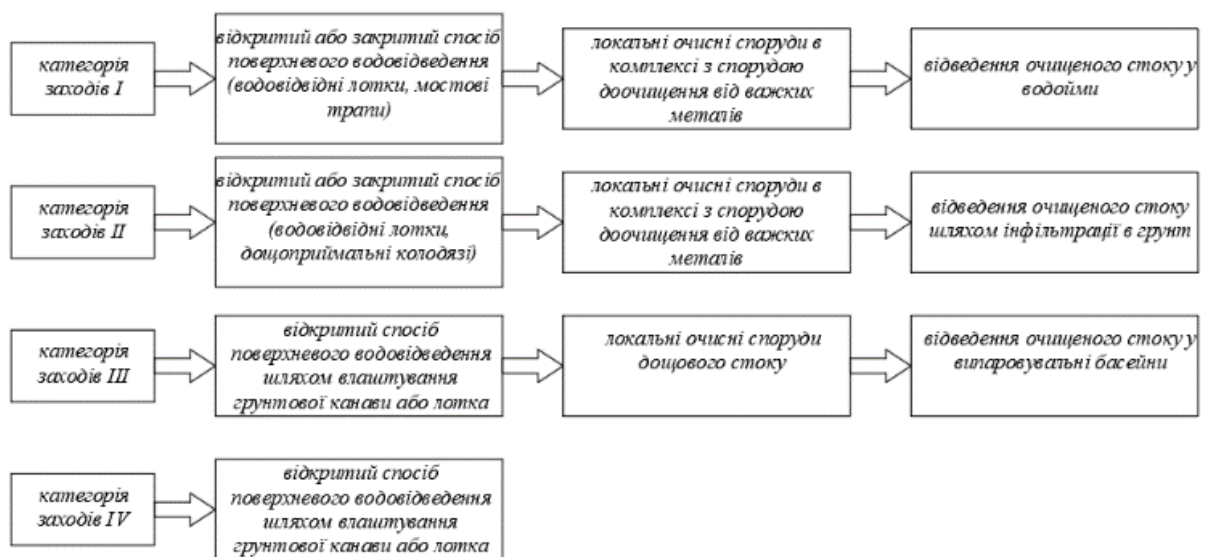


Рисунок 4.5 – Модель санітарно-технічних рішень

Заходи щодо мінімізації впливу забруднення придорожного середовища слід застосовувати в залежності від величини впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Санітарно-технічні рішення, які застосовуються при проєктуванні є недостатніми для забезпечення збереження екологічної безпеки. Поверхневе водовідведення є невід’ємною частиною проєктування та будівництва автомобільних доріг, типова схема якого повинна видозмінюватись в залежності від вимог до ефективності його функціонування. Приклади світової практики влаштування поверхневого водовідведення в конструкції дорожнього одягу наведені на рисунку 4.6.

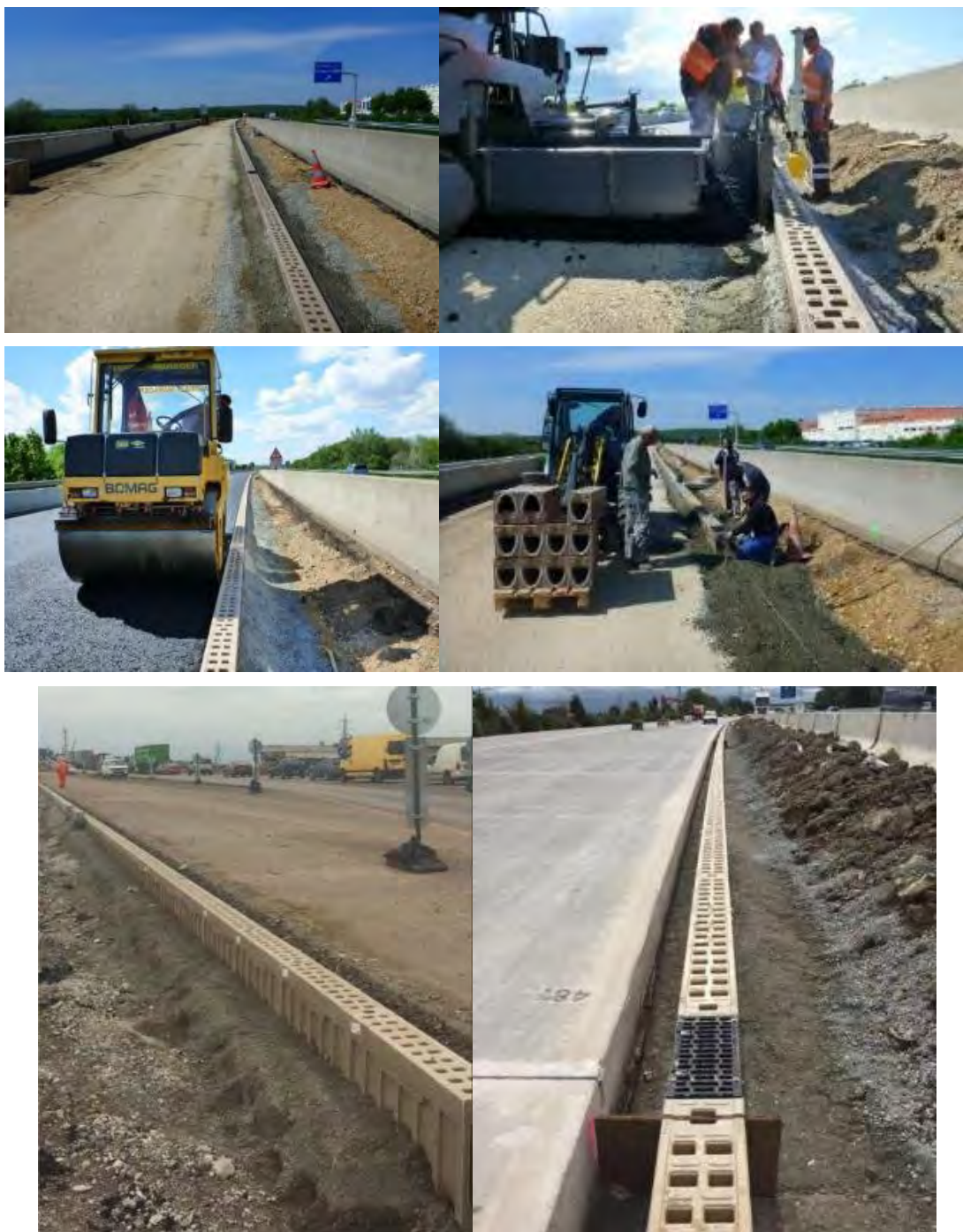


Рисунок 4.6 – Приклади влаштування поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах

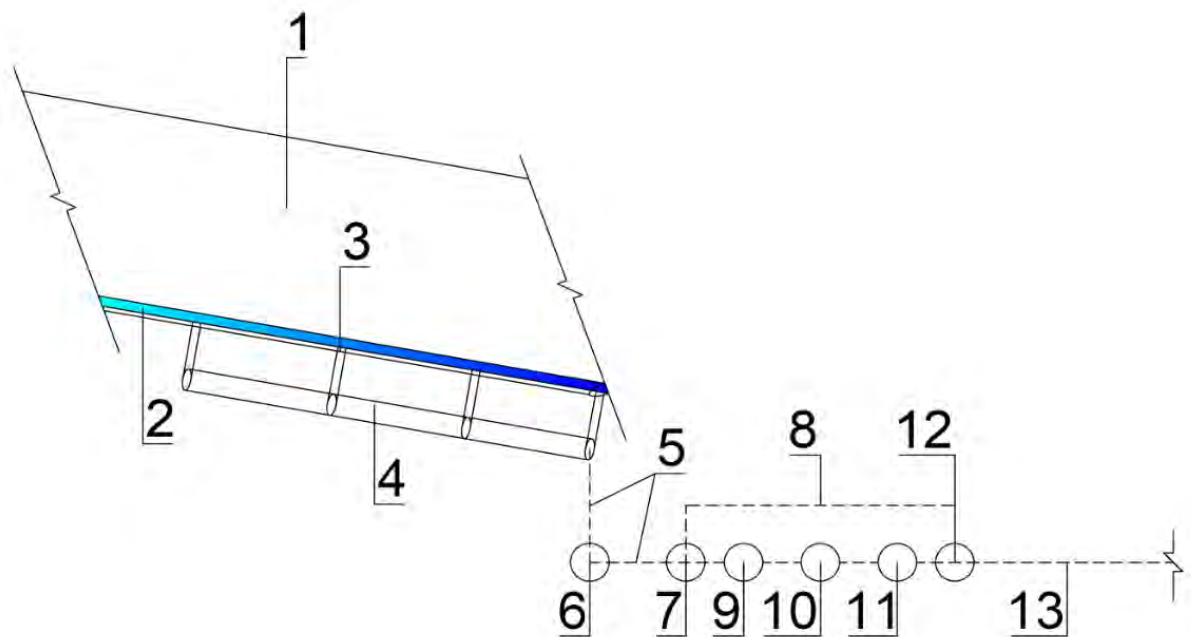
Критерії вибору схеми влаштування водовідведення наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – 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

4.4 Рекомендації із застосування лоткових каналів для поверхневого водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг

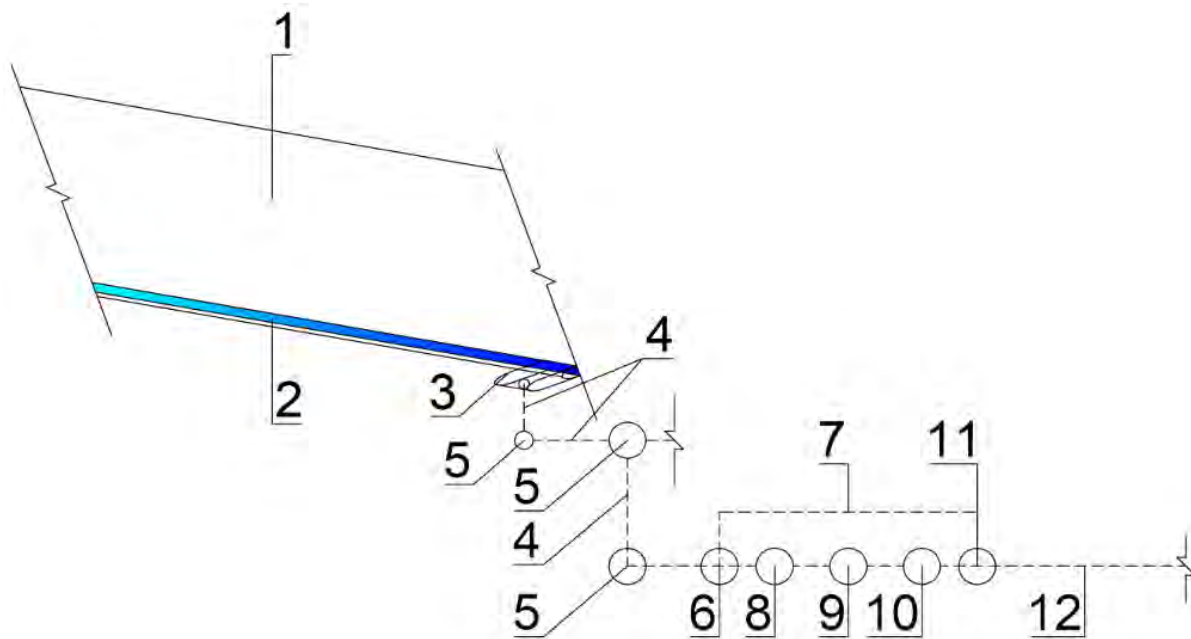
Визначення заходів щодо забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки на автомобільних дорогах здійснюється на основі аналізу та розрахунків: можливого техногенного впливу, умов проходження траси, можливості безпечного відведення стоків з умовою забезпечення водного балансу місцевості. Схема водовідведення розрахункової ділянки автомобільної дороги включає в себе весь комплекс управління поверхневими стоками від збору до утилізації при забезпеченні ГДК. Типове комплексне рішення для мостів представлено на рисунку 4.7.



1 – водозбірний басейн; 2 – водовідвідний канал; 3 – мостові воронки; 4 – підвісний каналізаційний трубопровід; 5 – каналізаційний трубопровід; 6 – поворотний (ревізійний) колодязь; 7 – розподільчий колодязь; 8 – аварійний трубопровід; 9 – відстійник; 10 – коалесцентний сепаратор нафтопродуктів; 11 – сорбційний фільтр (нано фільтр); 12 – контрольний колодязь; 13 – відведення очищеного стоку у водойму з застосуванням відповідних заходів

Рисунок 4.7 – Комплексні рішення для влаштування водовідведення I категорії санітарно-технічних рішень

Типове комплексне рішення для штучних споруд (мостів, шляхопроводів, естакад, віадуків, тунелів) населених пунктів з високою інтенсивністю руху, заповідних зон та сільськогосподарських угідь у поєднанні з високою інтенсивністю (I та II категорії) та не найкращим станом проїзної частини представлено на рисунку 4.8.

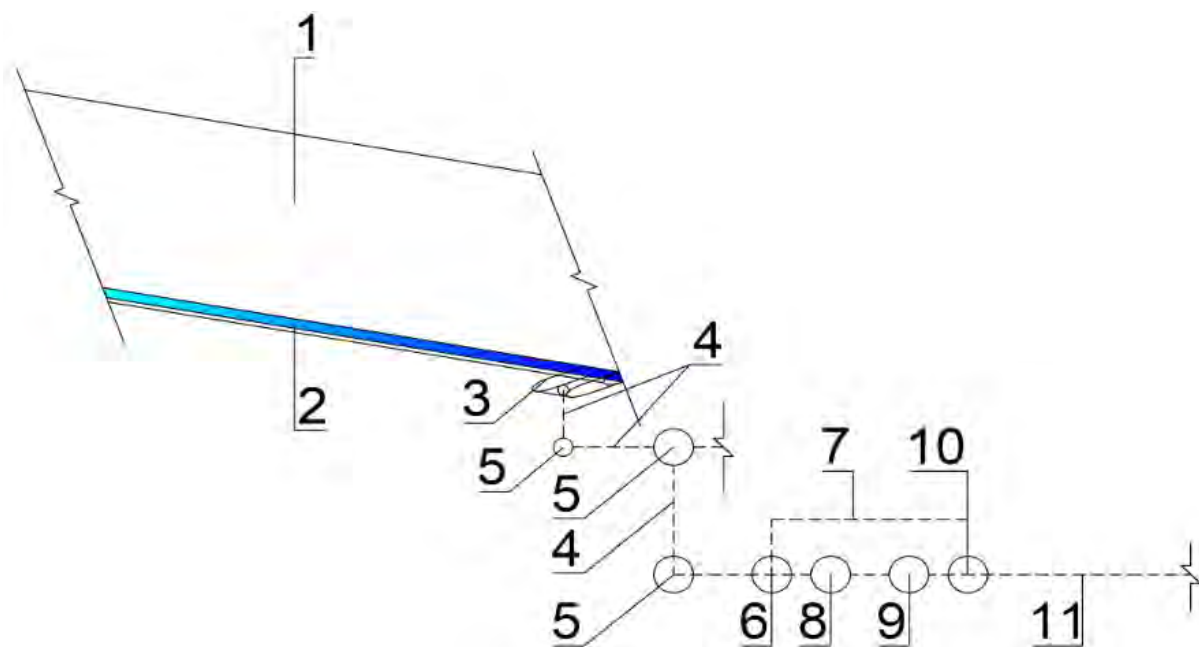


1 – водозбірний басейн; 2 – водовідвідний канал; 3 – піскоуловлювач; 4 – каналізаційний трубопровід; 5 – поворотний (ревізійний) колодязь; 6 – розподільчий колодязь; 7 – аварійний трубопровід; 8 – відстійник; 9 – коалесцентний сепаратор нафтопродуктів; 10 – сорбційний фільтр (нано фільтр); 11 – контрольний колодязь; 12 – відведення очищеного стоку у випаровувальний басейн або фільтраційні споруди

Рисунок 4.8 – Комплексні рішення для влаштування водовідведення II категорії санітарно-технічних рішень

Типове комплексне рішення для малих штучних споруд, до прикладу водопропускних труб, населених пунктів з невисокою інтенсивністю руху (III категорії доріг) та сільськогосподарських угідь у поєднанні з невисокою

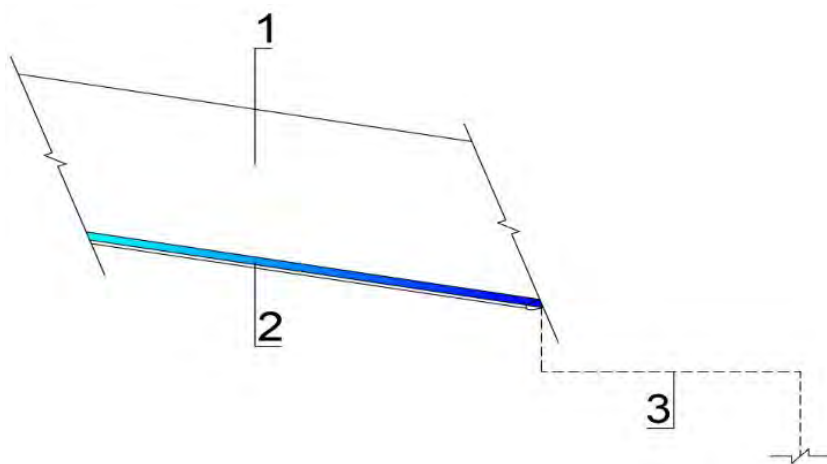
інтенсивністю руху транспортних засобів не характеризуються високим рівнем забрудненості та не потребують представлено на рисунку 4.9.



1 – водозбірний басейн; 2 – водовідвідний канал; 3 – піскоуловлювач; 4 – каналізаційний трубопровід; 5 – поворотний (ревізійний) колодязь; 6 – розподільчий колодязь; 7 – аварійний трубопровід; 8 – відстійник; 9 – коалесцентний сепаратор нафтопродуктів; 10 – контрольний колодязь; 11 – відведення очищеного стоку у випаровувальний басейн

Рисунок 4.9 – Комплексні рішення для влаштування водовідведення III категорії санітарно-технічних рішень

Типове комплексне рішення для населених пунктів з невисокою інтенсивністю руху (IV – V категорії доріг), сільськогосподарських угідь та через ліси, представлено на рисунку 4.10.



1 – водозбірний басейн; 2 – водовідвідний канал; 3 – відведення стоку у випаровувальний басейн

Рисунок 4.10 – Комплексні рішення для влаштування водовідведення IV категорії санітарно-технічних рішень

Комплексні санітарно-технічні рішення забезпечать ефективне функціонування мережі автомобільних доріг України з мінімальною шкодою навколишньому середовищу.

Екологічні аспекти застосування рішень з влаштування водовідведення на автомобільних дорогах досліджені недостатньо. Відповідно до [1] при розрахункових опадах допускається застосовувати спрощену схему відведення стоку у водойму, навіть без попереднього очищення. Визначальним фактором у даному випадку є низька концентрація забруднюючих речовин через велику кількість опадів. Однак при опадах малої інтенсивності отримуємо велику концентрацію забрудненого стоку: завислими речовинами, нафтопродуктами, важкими металами, антижеледними реагентами та ін [153, 156, 160]. Проєктом нормативу ДСТУ 9057:2020 «Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування» передбачено влаштування одного з варіантів водовідведення з автомобільних доріг:

Схема 1. Характеризується вільним стіканням води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги на узбіччя, далі на укоси та потім у бічні водовідвідні канали (кювети). Швидкість стікання води в цьому випадку визначається параметрами поздовжніх і поперечних ухилів проїзної частини та узбіч, нормованих ДБН В.2.3-4, станом покриття проїзної частини, а також його типом, регламентованим типовим проектом на дорожні одяги. Таку схему застосовують на автомобільних дорогах загального користування всіх технічних категорій.

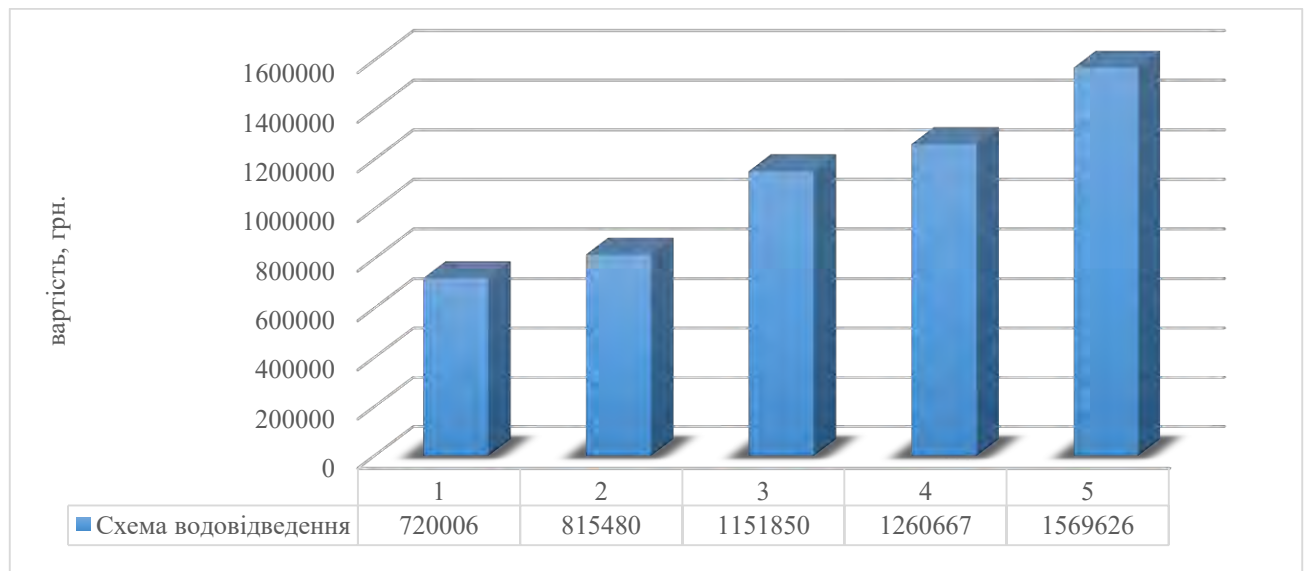
Схема 2. Характеризується вільним стіканням води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до прикрайкових водозбірних лотків, що розташовуються по краю проїзної частини, далі у відкриті укісні водоскидні лотки, встановлені через певні відстані один від одного, потім в водовідвідні укріплені канали, очисні споруди або на прилеглу територію. Цю схему застосовують на автомобільних дорогах загального користування I - III, інколи - IV технічних категорій. Відповідно до цієї схеми система поверхневого водовідведення включає типові залізобетонні водозбірні прикрайкові та водоскидні укісні телескопічні лотки, а також укріплені водовідвідні канали.

Схема 3. Характеризується вільним стіканням води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до бордюрів, далі у відкриті укісні водоскидні лотки, які розташовані через певні відстані один від одного, потім у водовідвідні укріплені русла, очисні споруди, закриту каналізацію або на прилеглу територію. На автомобільних дорогах загального користування можливе поєднання декількох схем організації поверхневого водовідведення. При організації поверхневого водовідведення приділяють особливу увагу вузлам сполучення прикрайкових та укісних споруд, ділянок входу в укісний лоток, гасникам у кінцевій частині укісних лотків, зміцненню нижнього б'єфу укісної водоскидної споруди та ділянкам його сполучення з поздовжніми водовідвідними каналами, очисними спорудами.

Відведення забрудненого стоку через укоси або ґрунтові канали не доцільно застосовувати на автомобільних дорогах I - II категорій, через значні показники

забруднення. Для ділянок з високою інтенсивністю руху, улаштуванням мостів, шляхопроводів та при проходженні автомобільних доріг загального користування через населені пункти доцільно розглядати комплексну схему організації водовідведення (рис. 4.7 - 4.10).

Кошторисна вартість відповідно до типу схем 1 - 3 та закритого і відкритого способів за [1, 103] наведена на рисунку 4.11.



1 – вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги на узбіччя, далі на укоси та потім у бічні водовідвідні канави (кювети); 2 – вільним стіканням води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до бордюрів, далі у відкриті укисні водоскидні лотки, які розташовані через певні відстані один від одного ; 3 – вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до прикрайкових водозбірних лотків, що розташовуються по краю проїзної частини, далі у відкриті укисні водоскидні лотки, встановлені через певні відстані один від одного, потім в водовідвідні укріплені канави;
4 – закрыта мережа каналізації; 5 – лінійне поверхневе водовідведення

Рисунок 4.11 – Кошторисна вартість схеми водовідведення, ділянка 100 м

Кошторисна вартість приведена без урахування влаштування локальних очисних споруд дощового. Технічна складова представимо у вигляді 10 показників (рис. 4.12).

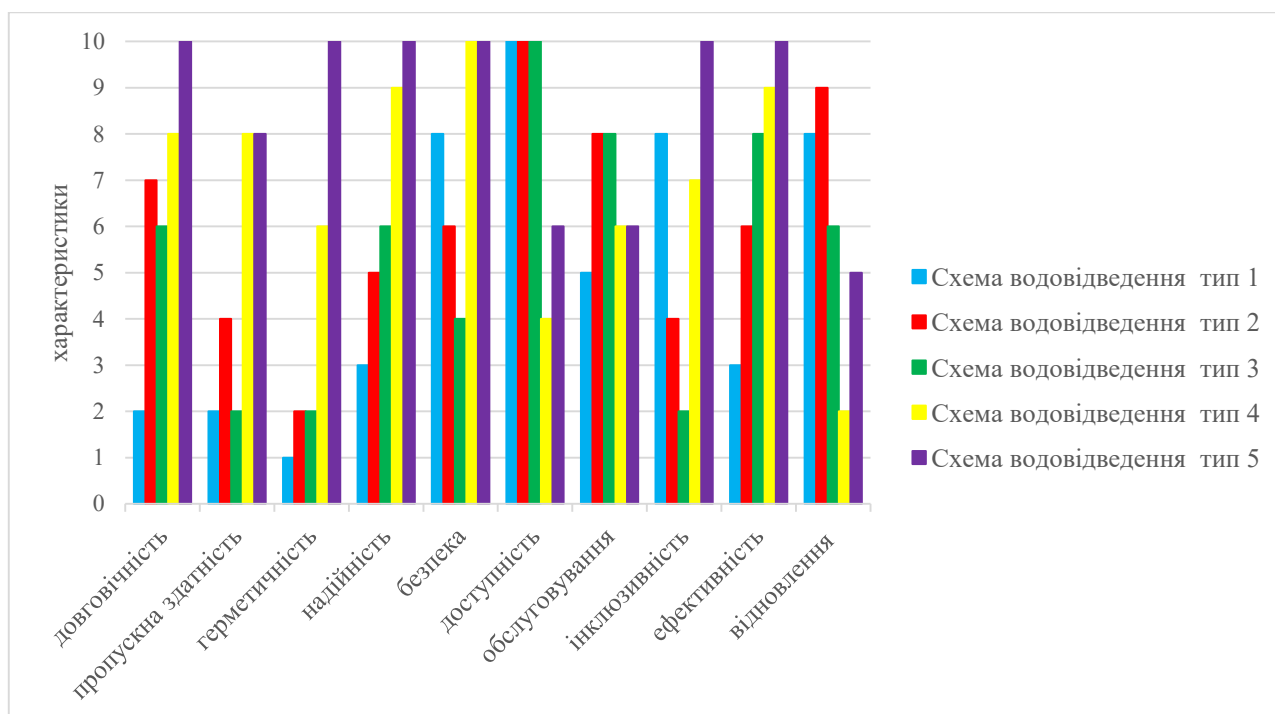


Схема водовідведення тип 1 – вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги на узбіччя, далі на укоси та потім у бічні водовідвідні канали (кювети); схема водовідведення тип 2 – вільним стіканням води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до бордюрів, далі у відкриті укісні водоскидні лотки, які розташовані через певні відстані один від одного ; схема водовідведення тип 3 – вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до прикрайкових водозбірних лотків, що розташовуються по краю проїзної частини, далі у відкриті укісні водоскидні лотки, встановлені через певні відстані один від одного, потім в водовідвідні укріплені канали; схема водовідведення тип 4 – замкнута мережа каналізації; схема водовідведення тип 5 – лінійне поверхневе водовідведення

Рисунок 4.12 – Технічні характеристики водовідвідних схем

При найвищій вартості будівництва лінійне поверхневе водовідведення характеризується найвищими технічними показниками. Схема 1 – вільного стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги на узбіччя, далі на укоси та потім у бічні водовідвідні канали (кювети) є найдешевшим та найменш технічно досконалим. Вартість рішень з влаштування водовідведення від найпростіших до найефективніших змінюється в двічі, а технічні характеристики – до 70 %. Визначено, що капітальні затрати на етапі проєктування та будівництва

забезпечують надійне та довговічне функціонування системи водовідведення. Запропоновано схему комплексного рішення з влаштування водовідведення з умовами ефективної їх роботи. Додатковим фактором застосування водовідведення закритим способом та відкритими лінійними лотковими каналами [4] є екологічні аспекти вирішення питання забруднення навколишнього середовища поверхневими стоками з автомобільних доріг.

Відповідно до [72] водовідведення влаштовується шляхом влаштування в смузї відведення автомобільної дороги ґрунтової канами, або відповідно до [75] – прийрайкових відкритих бетонних лотків. Дані рішення лише частково вирішують питання водовідведення. Одним із заходів підвищення та поліпшення безпеки руху на автомобільних дорогах є якісне водовідведення. Матеріали систем поверхневого водовідведення повинні відповідати вимогам надійності та довговічності під дією статичних та динамічних навантажень, а також впливів антиожедних реагентів, температурних та погодних факторів, а також забезпечувати надійну роботу в умовах замерзання розмерзання. Надійна робота систем водовідведення під дією навантаження забезпечується при міцності матеріалу 22 Н/мм^2 . Шорховатість стінок елементів водовідведення повинна бути не вищою – 25 мкм, для мінімізації гальмування руху стоків. Герметичність лінійної споруди повинна забезпечуватись при тривалому наповненні системи, на даний час в Європі практикується 72 години – тест на герметичність.

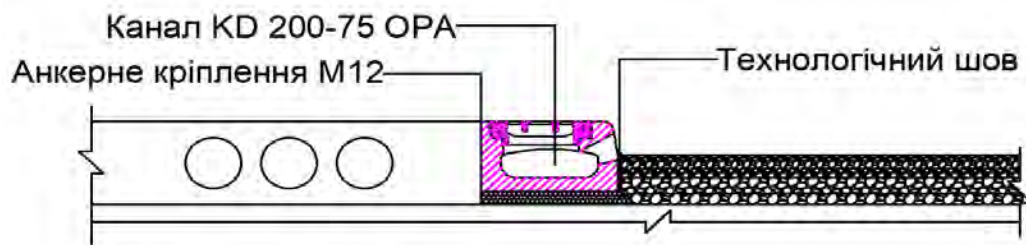


Рисунок 4.13 – Переріз мостового полотна з водовідвідним каналом

Підходи до штучних споруд досить часто влаштовуються зі значними поздовжніми похилами. У зв'язку з цим ефективність застосування закритого способу відведення стоків, дощоприймачів, є не доцільним. Водовідведення на підходах до штучних повинно влаштовуватись з умовою забезпечення ефективного збору стоків для асфальтобетонних покриттів (рис. 4.14).

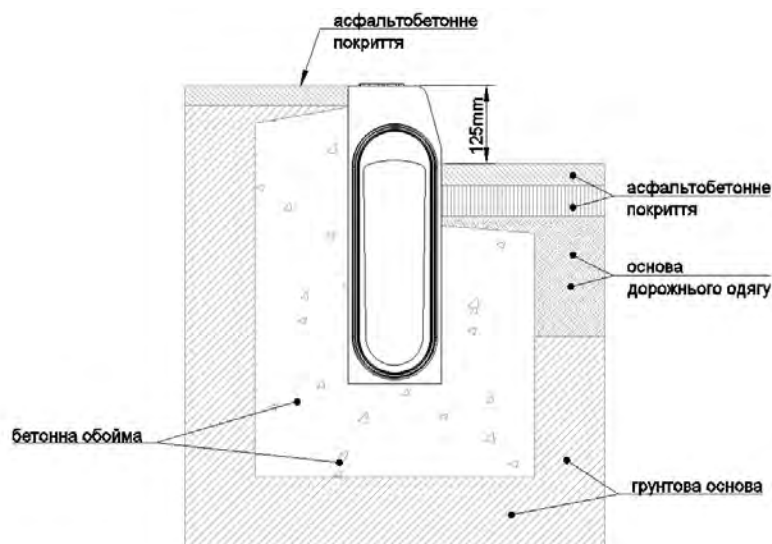


Рисунок 4.14 – Переріз покриття з водовідвідним каналом на ділянці підходу до штучних споруд для нежорстких дорожніх одягів

У бетонному покритті (рис. 4.15).

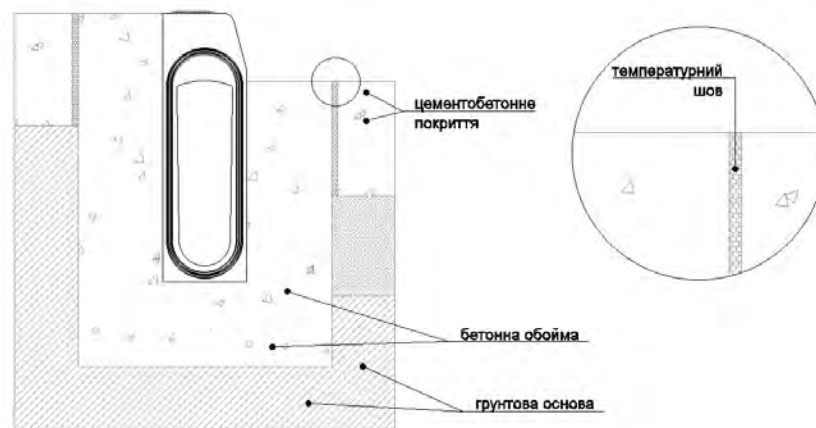


Рисунок 4.15 – Переріз покриття з водовідвідним каналом на ділянці підходу до штучних споруд для жорстких дорожніх одягів

Влаштування зупинок громадського транспорту потрібно здійснювати з максимально якісним водовідведенням. Це може бути виконане шляхом встановлення водовідвідного бордюру (рис. 4.16).

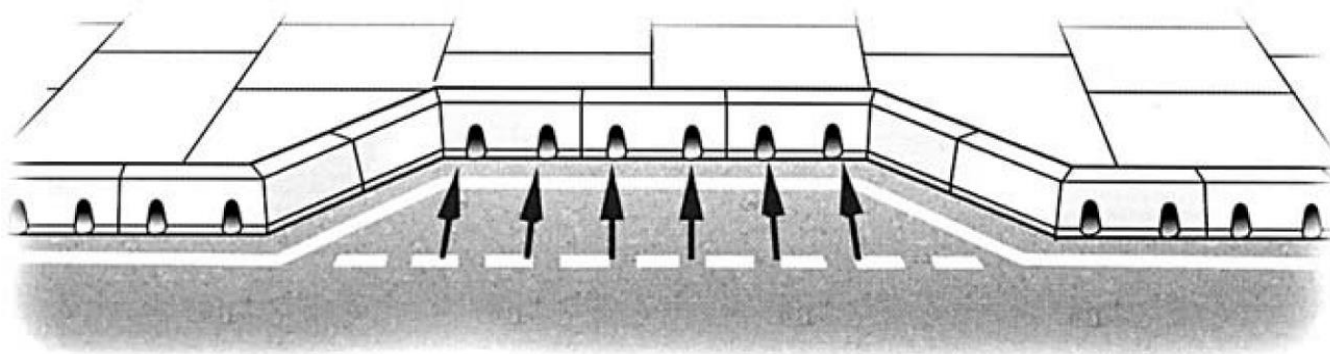


Рисунок 4.16 – Влаштування водовідведення на зупинках громадського транспорту в бортовому камені

Відповідно до [6] поперечний похил зупинкового карману влаштовується у напрямку до осі дороги (рис. 4.17).

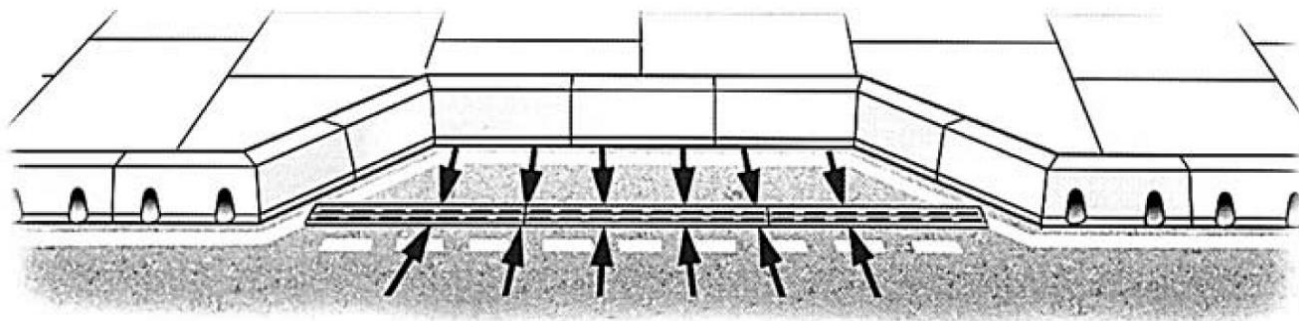


Рисунок 4.17 – Влаштування водовідведення на зупинках громадського транспорту за традиційним поперечним профілем

Організація безпеки на зупинках транспорту вирішується шляхом застосування спеціальних підвищених елементів до 18 см над рівнем покриття для мінімізації можливості заїзду транспортних засобів. Окрім того на елементи

нанесене спеціальне покриття для мінімізації ризику ковзання пасажирів у зоні зупинки транспортних засобів (рис. 4.18).

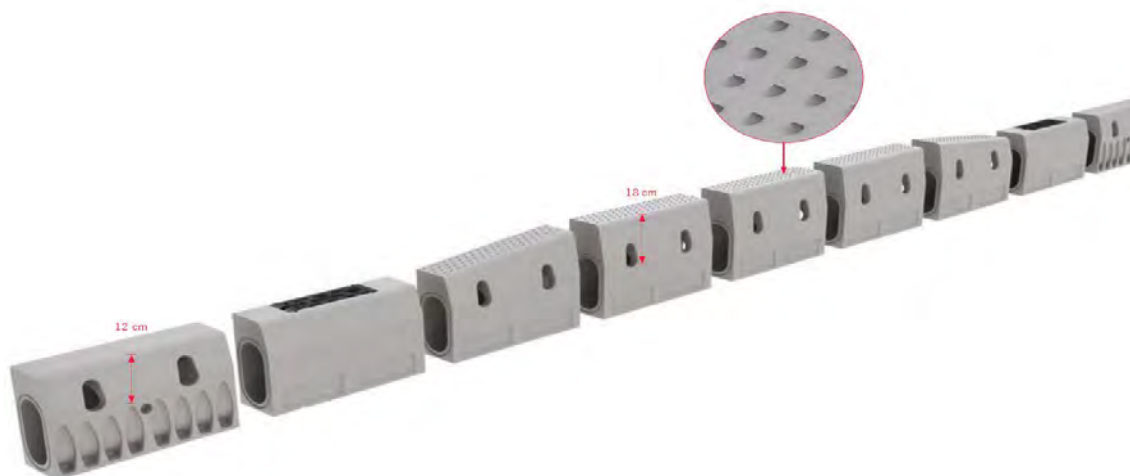


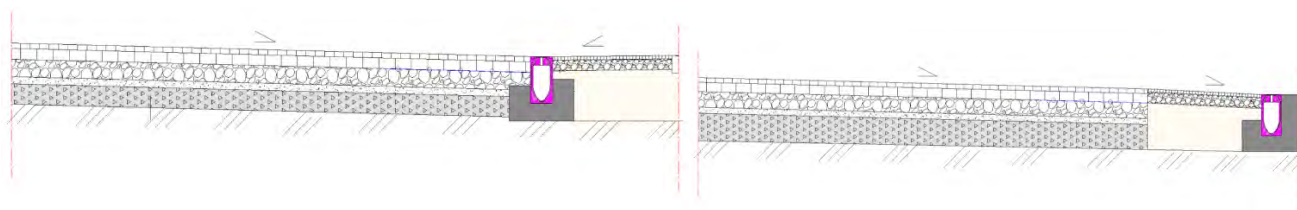
Рисунок 4.18 – Поздовжня схема влаштування водовідведення з посиленими заходами безпеки

Влаштування водовідведення на пішохідних переходах доступних для мало мобільних груп населення [105].



Рисунок 4.19 – Доступні пішохідні переходи з влаштуванням водовідведення

Влаштування поверхневого водовідведення на ділянках автомобільних доріг I категорії у насипі та виїмці слід виконувати в межах проїзної частини або на узбіччі (рис. 4.20).



а) – водовідведення в межах проїзної частини;

б) – водовідведення на узбіччі

Рисунок 4.20 – Схеми влаштування водовідведення

При влаштуванні систем поверхневого водовідведення необхідно враховувати температурне розширення матеріалів. Влаштування температурних швів розширення в системі водовідведення необхідне в цементобетонних покриттях: поздовжні та поперечні, в асфальтобетонних покриттях – поперечні шви розширення.

Відповідно до нормативних вимог обслуговування систем водовідведення слід виконувати не менше ніж два рази на рік. При правильному підборі типу лінійного водовідведення – засмічення системи практично не відбувається, процес утримання значно спрощується. Однак зимове утримання доріг, а саме боротьба з зимовою слизькістю покриття автомобільних доріг з використанням антиожеледних заходів містить значну частину піску, який при малих об'ємах стоку транспортувати практично не можливо, тому в якості забезпечення надійного функціонування системи після зимового утримання систему лінійного водовідведення слід очистити – шляхом промивання.

Висновки до розділу 4

На основі експериментальних і теоретичних досліджень, розроблено методики розрахунку систем поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг для лінійного водовідведення та при підведенні дощового стоку до локальних очисних споруд, які враховують дійсні параметри водозбірного басейну та фактичну тривалість формування поверхневого стоку, для автомобільних доріг з шириною смуги руху (3,75 – 15,0) м та поздовжніми похилами прямолінійних ділянок до 30 %. Розроблено рекомендації з комплексного підвищення точності гідравлічних розрахунків

З метою мінімізації впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище було розроблено типові комплексні схеми з організації санітарно-технічних рішень для типових ділянок автомобільних доріг залежно від умов проходження дороги та характеристик транспортного потоку, із забезпеченням мінімізації впливу автомобільного транспорту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на навколишнє середовище. Типові комплексні рішення розроблені з урахуванням класифікації ділянок автомобільних доріг наведених в розділі 3.

Представлено техніко-економічне порівняння схем влаштування поверхневого водовідведення. Вартість рішень з влаштування водовідведення від найпростіших до найефективніших змінюється в двічі, а технічні характеристики – до 70 %. Визначено, що капітальні затрати на етапі проєктування та будівництва забезпечують надійне та довговічне функціонування системи водовідведення.

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [139, 195].

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішене актуальне науково-практичне завдання удосконалення методу проєктування 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 проєктування та розрахунку поверхневого стоку з автомобільних доріг показав, що більшість із них орієнтовані на проєктування 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 стоку 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 очищення дощових стоків для різних категорій автомобільних доріг. Також спільно з ТОВ «Міжнародний проектний інститут» та ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» було виконано проектні рішення для влаштування лінійного водовідведення при проектуванні автомобільних доріг державного значення (вісім 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».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ, 2013. 219 с.
2. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дорога населених пунктів. Київ, 2019. 55 с.
3. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. Київ, 2012. 64 с.
4. ГБН В.2.3-218-007:2012. Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Київ, 2012. 25 с.
5. ГБН В.2.3-218-540:2012. Споруди транспорту. Охорона довкілля при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. Київ, 2012. 17 с.
6. ГБН В.2.3-37641918-550:2018. Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту. Загальні вимоги проектування. Київ, 2018. 19 с.
7. Піндус Б.І. Технічна механіка рідини і газу. Донецьк АДІ ДВНЗ ДонНТУ, 2014. 158 с.
8. Кузло М.Т. Експериментальні та теоретичні дослідження деформацій ґрунтових масивів при дії техногенних факторів : монографія. Рівне: НУВГП, 2019. 181 с.
9. Models and Applications to Urban Water Systems Monograph 9. Cat/#R207 Ed. William James. Pub. CHI, Guelph, Ontario. Feb. 2000. 549 p.
10. Ричак Н.Л., Московкін В.М., Кузнецова В.В. Розрахунок екологічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Казаріна*. Вип. 44. Харків, 2016. С. 177–183.
11. ДСТУ 3013-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств. Київ, 1995. 17 с. (Інформація та документація).

12. ДСТУ-Н Б В.2.5-61:2012. Настанова з улаштування систем поверхневого водовідведення. Київ, 2012. 12 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ-Н Б В.2.5-71:2013. Споруди для очищення поверхневих стічних вод. Настанова з проектування (СН 496-77, MOD). Київ, 2014. 30 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ 8691:2016. Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти Київ, 2016. 28 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016. Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг. Київ, 2016. 93 с. (Інформація та документація).

16. Corbitt R.A. Standard Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill Education. 1998, 1532 p.

17. МВ 218-03450778-414:2005. Методичні вказівки щодо гранично-допустимих норм витрат протиожедних матеріалів при зимовому утриманні автомобільних доріг. Київ, 2005. 7 с.

18. MBV (MO) 218-03450778-237-2004. Методика оцінки впливу хлоридів на довкілля. Київ, 2004. 6 с.

19. Willians J.R. *Aquaplaning*. The British ministry of technology programme. 81–99 p.

20. Перевозников Б.Ф. Водоотвод с автомобильных дорог. Москва Транспорт, 1982. 190 с.

21. М 218-02070915-254-2004. Методика екологічних вишукувань при проектуванні автомобільних доріг. Київ, 2004. 8с.

22. Mays L.W. Storm water collection systems design handbook. McGraw-Hill Professional. 2001. 1008 p.

23. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация поверхностного водоотведения (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. Москва, 2000. 352 с.

24. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Ленинград, 1990. 224 с.

25. Вовк Л.І. Удосконалення методів гідравлічного розрахунку збірників атмосферних стічних вод: автореф. дис. ...канд.техн.наук: 05.23.16. Нац. Ун-т. водного господарства і природокористування. Рівне, 2007. 20 с.

26. Константинов Ю.М., Василенко А.А., Сапухин А.А., Батченко Б.Ф. Гидравлический расчет сетей водоотведения. Расчетные таблицы. Киев, 1987. 117с.

27. Костюк У.З. Фінансування природоохоронної діяльності в Україні: сучасний стан та шляхи покращення. *Науково-виробничий журнал «Інноваційна економіка»*. Вип 1. (56) Тернопіль, 2015. С. 181–186.

28. Сакалова Г.В. Науково – теоретичні основи комбінованих процесів очищення водних середовищ із використанням природних сорбентів: Дис. ... кан. техн. наук: 21.06.01 – Львів, 2016. 341 с.

29. Rossman L. A. Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5.0 EPA/600/R 05/040 Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati: [s. N.], 2007. 265 p.

30. Директива 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 жовтня 1998 року, щодо якості бензину та дизельного палива та внесення змін до Директиви Ради 93/12/ЄЕС (ОВ № L 350, від 28.12.1988. 58 с.)

31. Перевозников Б.Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений. Москва, 1975. 304 с.

32. Бегам Л.М., Алтуни В.С., Цыпин В.Ш. Регулирование водных потоков при проектировании дорог. Москва, 1977. 304 с.

33. Drainage Manual. Virginia Department of Transportation. Commonwealth of Virginia. 2002.

34. Кузло М.Т. Про деякі аналітичні рішення диференціальних рівнянь нестационарної фільтрації при осушенні ґрунтового масиву. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 94. Київ, 2015. С. 159–167.

35. Stormwater Drainage Manual. City of Columbus. Division of Sewerage and Drainage Department of Public Utilities. 2006. 316 p.

36. Возняк Л.В., Гімер П.Р., Мердух М.І., Паневик О.В. Гідравліка. Івано-Франківськ ІФНТУНГ, 2012. 327 с.

37. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений. ВНИИ транспортного строительства- Москва, 1992. 408 с.

38. Larry W. Stormwater collection systems design handbook. Mays Editor in Chief. Department of Civil and Environmental Engineering. Arizona State University. Tempe. Arizona. 2006. 71 p.

39. Жук В.М., Матлай І.І., Саницький М.А. Розрахункова витрата та час концентрації дощового стоку з радіальних у плані басейнів з постійним позовжнім похилом. *Вісник Нац. Ун-ту «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.*- Вип. 664. Львів, 2010. С. 98–103.

40. Жук В.М. Час поверхневої концентрації стоку для дощів постійної інтенсивності та лінійних басейнів стоку. *Вісник Нац.ун-ту «Львівська політехніка». Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація*. Вип. 545. Львів, 2005. С. 53–60.

41. Жук В.М., Рутковська І.З., Вовк Л.І., Омельчан Ю.П. Час поверхневої концентрації дощових вод в басейнах з постійним похилом для дощів постійної в часі інтенсивності. *Пожезна безпека*. Вип. 7. Львів, 2005. С. 112–118.

42. Жук В.М., Матлай І.І. Час поверхневої концентрації дощового стоку з лінійних в плані басейнів стоку при зміні похилу за степеневим законом. *Вісник Нац.ун-ту «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. Вип. 655. Львів, 2009. С. 83–88.

43. Ігнатенко О.П. Стан зливової каналізації в Україні та нормативно-правове забезпечення з питань облаштування поверхневого водовідведення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. Збірник*. Вип.17. Київ, КНУБА. 2011. С. 6–9.

44. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения: учеб. Пособие Москва, Стройиздат, 1987. 336 с.

45. Китаєв А.Л. Акумулявання, очистка та використання поверхнево-зливового стоку з територій промислових підприємств: Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук:05.23.04/ Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури. Харків, 1997. 18 с.

46. Курганов А.М. Закономерности движения воды в дождевой и общесплавной канализации. Москва, Стройиздат, 1982. 72 с.

47. Курганов А.М. Таблицы параметров предельной интенсивности дождя для определения расходов в системах водоотведения: справ. Пособие. Л.ЛИСИ. 1984. 88 с.

48. Курганов А.М., Дупляк В.Д. Гидравлический расчет водопропускных сооружений. Київ :Будівельник, 1982. 95 с.

49. Технічний стан автомобільних доріг загального використання [Електронний ресурс] <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stand-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html> (дата звернення: 20.04.2020).

50. Сидор В.Б. Зміна фільтраційних характеристик незв'язних ґрунтів під дією дренажу : автореф. Дис ... канд. Техн. Наук : 05.23.16 Київ, 2009. 19 с.

51. William James. Advances in modelling the management of stormwater impacts vol. 6. Edited. Pub. CHI. Ontario. 1998. 504 p.

52. Design and construction of urban stormwater management systems. Manual of practice №77, Amer.Soc.of Civil Engineers. 1992. 724 p.

53. Drainage handbook. Exfiltration systems. State of Florida. Department of Transportation. Office of Design, Drainage Section. Tallahassee, Florida, 2012. 94 p.

54. Ткачук О.А., Ярута Я.В. Обґрунтування формул та їх параметрів для оптимізаційних розрахунків мереж дощового водовідведення. *Вісник НУВГП серія «Технічні науки»* Вип. 4(76). Рівне, 2016. С. 259–267.

55. Guo J.C.Y. Grade control for urban channels design. Elsevier *Science of Hydro-Environmental Research*. 2009.

56. Guo J.C.Y. Rational volumetric method for off-line storm water detention designs. Of *PB Network for Water engineering and Management*. 2006.

57. Guo J.C.Y., Hsu E.S.C. Hydrologic modelling consistency and sensitivity to watershed size. *Network for Water Engineering and Management*. Vol.21.N3. 2006.

58. Guo J.C.Y., Hughes W. Storage volume and overflow risk for infiltration basic design. *ASCE J. of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol.127.N3. 2001.

59. Guo J.C.Y., Hsu E.S.C., Chen J. Sustainable surface-subsurface storm water retention system. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*. Vol.14.N2. 2006.

60. Guo J.C.Y., Urbonas B. Consistency between Colorado urban hydrograph procedure and rational methods. *Annual Natural Hazards News*, published by Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado. 2008.

61. Huber W.C., Dozl J., Gomes M., and Martin J.P., eds. Experience with the U.S.EPA SWMM Model for analysis and solution of urban drainage problems. *Proceeding, Inundaciones Y Redes De Drenaje Urbano*, Colegio de Ingeniors de Caminos, Canales Y Puertos, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain. 1992. P. 199–220.

62. One-Side Stormwater Management Manual. Auckland City, New Zealand.- 2002. 120 p.

63. Overton D.E., Meadows M.E. Storm water modeling. *Academic Press*. New York, 1976. P. 58–88.

64. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України Київ, 2002. 31 с.

65. ÖWAV-Regelblatt 45 Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund Wien 2015. 45 p.

66. М 218-02071168-626:2007. Методика оцінки екологічного впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Київ, 2007. 20 с.

67. М 218-02070915-630:2007. Методика комплексної оцінки будівництва та реконструкції автомобільних доріг з урахуванням соціально-економічної та екологічної ефективності. Київ, 2007. 16 с.

68. Каськів В.І., Гавришук В.В. 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. URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>

69. М 218-02070915-694:2011. Методика оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожного середовища системою транспортний потік – дорога. Київ,. 2011. 28 с.

70. М 42.1-37641918-766:2017. Методика розрахунку гідроботанічних майданчиків при здійсненні очищення стічних вод із поверхні автомобільних доріг і мостових споруд. Київ, 2017. 41 с.

71. Правове регулювання відносин в сфері довкілля в Європейському союзі та в Україні. За заг. Ред. К.е.н. В. Г. Дідика. Київ, 2007. 579 с.

72. ТТК 03450778-155:2013. Типова технологічна карта на виконання робіт з улаштування водовідвідних канал автогрейдером. Київ, 2013. 5 с.

73. [Електронний ресурс] <https://zakupki.prom.ua/gov/tenders/UA-2019-02-12-000476-b> (дата звернення: 20.04.2020).

74. Юрченко В.О., Коротченко М.В., Бригада О.В., Михайлова Л.С. Дослідження технологічних характеристик поверхневого стоку з автомобільних доріг. *Науково-виробничий журнал «Автомобільний транспорт»*. Вип. 4 (228) Київ, 2012 С. 44–47.

75. ТТК 37641918/03450778-213:2016. Типова технологічна карта на влаштування бетонних водопропускних відкритих лотків на узбіччі автомобільних доріг для відведення води з проїзної частини. Київ, 2016. 17 с.

76. Р В.3.2-218-03450778-039-2003. Рекомендації з утримання смуги відведення автомобільних доріг. Київ, 2003. 22 с.

77. Р В.2.3-218-02070915-206-2003. Рекомендації по призначенню розмірів смуги відведення для доріг різних категорій. Київ, 2003. 14 с.

78. Р Б.2.2-218-03450778-310-2004. Рекомендації по запобіганню забруднення довкілля поверхневими стоками з автомобільних доріг. Київ, 2004. 10 с.

79. Р В.3.2-218-03449261-483:2005. Рекомендації щодо покращення екологічного стану автомобільних доріг при використанні різних технологій для боротьби з зимовою слизькістю. Київ, 2005. 17 с.

80. Ткачук С.Г., Жук В.М. Регулювання дощового стоку в системах водовідведення. Монографія. Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2012. 216 с.

81. Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV Про автомобільні дороги [Електронний ресурс] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (дата звернення: 20.04.2020).

82. МР В.3.2-218-03449261-624:2007. Методичні рекомендації з експлуатаційного утримання автомобільних доріг навесні, влітку та восени. Київ, 2007. 15 с.

83. Мельнікова О.Г. Підвищення екологічної безпеки заміських об'єктів дорожньої інфраструктури: Дис. ... кан. техн. наук: 21.06.01 Харків, 2017. 191 с.

84. Забишний Я.О. Підвищення рівня екологічної безпеки міських автотранспортних мереж (на прикладі м. Івано-Франківськ): Дис. ... кан. техн. наук: 21.06.01 Івано-Франківськ, 2017. 153 с.

85. Р В.3.1-218-02071168-750:2009. Рекомендації з технології застосування хлористих солей з інгібітором корозії СИЛОЛ-ІК для боротьби з зимовою слизькістю. Київ, 2009. 6 с.

86. Р В.2.3-218-03450778-783:2011. Рекомендації з вибору та застосування технологічних схем відведення та очищення стоків з поверхні автомобільних доріг і штучних споруд. Київ, 2011. 37 с.

87. СОУ 45.2-00018112-005:2005. Настанова з вимірювань показників забруднення довкілля у дорожньому господарстві. Київ, 2006. 31 с.

88. Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%25D0%25BF/paran11%23n11> (дата звернення: 20.04.2020).

89. Chesterton J., Nancekivell N., Tunnicliffe N. The Use of the Gallaway Formula for Aquaplaning Evaluation in New Zealand. Transportation and the Pursuit of Excellence. NZIHT & Transit NZ 8th Annual Conference 2006. 22 p.

90. Підлипний Ю.В. Аналіз високої аварійності та смертності на автомобільних дорогах України. *Науковий вісник НЛТУ України*. Вип 26.1. Львів, 2016. С. 252–257.

91. Ткачук О.А., Ярута Я.В. Особливості формування дощового стоку на міських територіях. *Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. Конф. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах*. Северодонецьк, 2018. С. 33–34.

92. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог. Автотрансиздат Москва, 1961. 500 с.

93. Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод. Київ, 2010. 10 с.

94. Руководство по проектированию водоотвода и дренажа на летных полях аэродромов. Москва, 1982. 205 с.

95. СНИП 2.05.08-85. Аэродромы. Госстрой СССР.- М.ЦИТП Госстроя СССР, 1985.-59 с.

96. Стратегія реформування та розвитку дорожньої галузі України
<https://mtu.gov.ua/files/Ministry%20of%20Infrastructure%20-%20Road%20Sector%20Reforms%20-%20v3> (дата звернення: 20.04.2020).

97. Павлюк Д.О. Основи та застосування теорії зчипних якостей дорожніх покриттів: автореферат Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 Київ, 1996. 47 с.

98. Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод. Харьков Основа, 1996. 316 с.

99. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 1986. 164 p.

100. Drainage Systems for National Roads Design Manual for Roads and Bridges DN-DNG-03022, 2015. 44 p.

101. ДСТУ XXXX:201X Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування. Київ 20XX. 27 с. (Інформація та документація).

102. ÖNORM EN 858-1 Separator systems for light liquids (e. G. Oil and petrol) 2005. 62 p.

103. ДСТУ Б EN 1433:2016. Лотки водовідвідні для транспортних і пішохідних зон. Класифікація, вимоги до виготовлення, методи випробувань, маркування та оцінка відповідності (EN 1433:2002, IDT+EN 1433:2002/A1:2005, IDT+EN 1433:2002/AC:2004, IDT) Київ, 2016. 83 с. (Інформація та документація).

104. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ, 1997. 17 с. (Інформація та документація).

105. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Київ, 2018. 64 с.

106. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 91 с.

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

108. Солодкий С.Й., Каськів В.І., Гаврищук В.В. Поверхнева концентрація стоку та розрахунковий похил автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 106. Київ, 2019 С. 46–54

109. Матус С.А., Левіна Г.М., Карпюк Т.С., Денищик О.Ю. Базове дослідження стану та напрямів розвитку екологічної політики України та перспектив посилення участі організацій громадянського суспільства у розробці та впровадженні політик, дружніх до довкілля. Київ, 2019. 117 с.

110. Жук В. М. Сучасні системи управління дощовим стоком на забудованих територіях *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : науково-технічний збірник*. Вип. 17. – Київ КНУБА, 2011. С. 26–31.

111. Ткачук О.А., Сальчук В. Л., Олексіюк О.В. Оцінка причин затоплення каналізованих міських територій дощовими водами. *Вісник НУВГП*. 36. Наук. Пр. Вип. 1 (65). Рівне НУВГП, 2014. С. 344–350.

112. Константинов Ю.М., Гижа О.О. Інженерна гідравліка Київ Видавничий дім «Слово», 2006. 432 с.

113. Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Канализация. Москва, 1975. 632 с.

114. Шаруда В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення. Рівне НУВГП, 2018. 343 с.

115. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, 2010. 128 с. (Інформація та документація).

116. Drain and sewer systems outside buildings: BS EN 752:2008. 182 p.

117. Матуа В.П. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций с учетом их неупругих свойств и пространственного нагружения: Дис. доктора техн. наук. Ростов на Дону, 2002. 48 с.

118. Боднар Р. Т. Розроблення методів та засобів контролю змочуваності твердих тіл рідинами: Дис. ... кан. техн. наук: 05.11.13 – І., 2006. 279 с.

119. Транспорт і зв'язок України. Статистичний збірник Державна служба статистики України.- Київ, 2019. 153 с.

120. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів

http://ukrstat.org/uk/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm (дата звернення: 20.04.2020).

121. Першегуба Я.В. Оцінка забруднення атмосферного повітря основних автомагістралей м. Києва за критерієм неканцерогенного ризику. *Екологический мониторинг. Метрология. Стандартизация и сертификация*. Вип. 4 Крим, 2009 – С. 99–103

122. Р В.3.2-218-03450778-790:2011. Рекомендації щодо стратегії обґрунтованого і ефективного планування та впровадження заходів з поліпшення безпеки дорожнього руху. Київ, 2011. 19 с.

123. Berntsen G., Saarenketo T. Drainage on low traffic volume roads. 2005. 123p.

124. Saarenketo T. Roadex III Developing Drainage Guidelines for Maintenance Contracts. 2007. 59 p.

125. FAO, Watershed Management Field Manual: Road Design and Construction in Sensitive Watersheds. FAO Conservation Guide 13/5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome 1998.

126. Design manual for roads and bridges. Surface and sub-surface drainage systems for highways. Volume 4. Section 2. Part 3. Hd 33/06

127. ДСТУ EN 858-1:2019. Сепараторні системи для легких рідин (наприклад, нафти та бензину). Частина 1. Принципи проектування, робочі характеристики та випробування, маркування та контролювання якості (EN 858-1:2002, IDT). Зі зміною. Київ, 2019. 55 с. (Інформація та документація).

128. Внукова В.Н. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «Автомобіль-Дорога-Середовище» *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*.- Вип5/3 (53).2011. С. 43–46.

129. Рутковська І.А, Федій І.С. Аналіз методик оцінювання забруднення придорожного середовища. Науково-технічний збірник «*Вісник Національного транспортного університету*» Вип. 1 (34). Київ, 2016. С. 414–423.

130. Забруднення атмосферного повітря викидами від транспорту <http://www.gpp.in.ua/transport/zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya-vikidami-vid-transportu.html> (дата звернення: 20.04.2020).

131. Забруднення автотранспортом <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/zabrudnennya-avtotransportom> (дата звернення: 20.04.2020).

132. Екологічна безпека <https://ns-plus.com.ua/2017/10/14/vazhchyj-za-vlasnu-molekulyarnu-vagu/> (дата звернення: 20.04.2020).

133. Эпоян С., Лукашенко С., Гетманец Н. Технология очистки нефтесодержащих поверхностно-ливневых сточных вод. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Vol.16, No. 6. 2014. С. 61–68.

134. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстежень. *Дороги і мости* Вип. 17. 2017 Київ, С. 42–53.

135. Водні ресурси України <http://www.nbu.gov.ua/node/3972> (дата звернення: 20.04.2020).

136. Ямлеева Э. У. Инженерные системы зданий и сооружений. Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики : учебное пособие. Ульянов. Гос. Техн. Ун-т. Ульяновск УлГТУ, 2018. 237 с.

137. СОУ 45.2-00018112-066:2011. Безпека дорожнього руху. Порядок проведення лінійного аналізу аварійності та оцінка умов безпеки руху на автомобільних дорогах. Київ, 2011. 14 с.

138. Каськів В. І., Гавришук В.В. Обґрунтування доцільності проектування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 95–109.

139. 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>

140. Настанова з метеорологічного прогнозування Київ, 2019. 35 с.

141. Бобков А.В., Бобкова О.А. Очистка загрязненных ливнестоков на мостах автомобильных дорог. *Дороги и мосты*. Вып. №3. Москва ФГУП РОСДОРНИИ, 2011. С. 253–261.

142. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Наказ 471 від 30.07.2012. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 серпня 2012 за 1369/21681.

143. Вирожемський В.К., Юрченко В.О., Бригада О.В., Коротченко М.В. Проблема забруднення придорожнього простору та схеми відведення та очищення

стоків з автомобільних доріг і штучних споруд «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Вип. 83. Київ, 2012. С. 22–29.

144. Литвиненко Т.П. Екологічні принципи проектування автомобільних доріг *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування та будівництво)*. Вип 4(39). Т.2. Полтава ПолтНТУ, 2013. С. 122–131.

145. 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. [VII-Conference-09-10-Helsinki-Finland.pdf \(isg-konf.com\)](https://isg-konf.com/VII-Conference-09-10-Helsinki-Finland.pdf)

146. 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. [X-Conference-30-31-San-Francisco-USA.pdf \(isg-konf.com\)](https://isg-konf.com/X-Conference-30-31-San-Francisco-USA.pdf)

147. Оголошення про проведення закупівлі
<https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2020-05-18-005273-c> (дата звернення: 20.04.2020).

148. Оголошення про проведення закупівлі
<https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2020-04-22-000100-b> (дата звернення: 20.04.2020).

149. 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.

150. Рибалова О.В. Водопостачання та водовідведення: Курс лекцій. Для студентів денної форми навчання. Спеціальність 101 «Екологія» Освітньо-кваліфікаційний ступінь «магістр». Харків: НУЦЗУ, 2017. 195 с.

151. Шевченко Т. О. Технічна механіка рідини та газу. Харків: ХНУМГ ім.О. М. Бекетова, 2017. 101 с.

152. Степура В.С., Белятинський А. О., Кужель Н. В. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів. Київ НАУ, 2013. 204 с.

153. Мостепан О.В. Оцінка впливу забруднення зливових вод з поверхні автомобільних доріг на навколишнє середовище: Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Харків, 2004. 251 с.

154. Токлименко О., Ставчук І., Сторчило М. Фіскальні методи регулювання викидів CO₂ автотранспортом в Україні. Київ, 2014. 24 с.

155. Шилін І.В., Грицук Ю.В., Грицук І.В., Третьякова Л.М. Особливості розрахунку поверхневого стоку на техногенно-деформованих територіях. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. №20. 2009. С. 159–163.

156. Коломієць С.В. Підвищення рівня екологічної безпеки автотранспортних підприємств : Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2019. 16 с.

157. Горшкалев П.А. Определение коэффициента стока и вывод формулы расхода ливневых вод. *Известия КазГАСУ*, Вып. №1 (11) 2009. С. 211–213.

158. Жук В. М., Качмар І. З., Фасуляк В. Є. Експериментальне дослідження стоку з водопроникного бетонного покриття для високоінтенсивних дощів малої тривалості. *Науковий вісник НЛТУ України*, Вип. 29(9), 2019 С. 132–135.
<https://doi.org/10.36930/40290923>

159. Лаврик В.І., Боголюбов В.М. Методи оцінки й управління поверхневим стоком урбанізованих територій. *Наукові записки Том 22. Природничі науки*. 2003. С. 416 – 419.

160. Васькіна І.В. Оцінка техногенного навантаження на придорожні екосистеми: Дис. ... кан. техн. наук: 21.06.01 С., 2018.214 с.

161. Safety Aspects of Road Edge Drainage Features. Design Manual for Roads and Bridges. Volume 4 Geotechnics and Drainage Section 2 Drainage.1999, 18 p

162. Ida van Schalkwyk, Simon P. Washington Cost Effective Safety Improvements on two-lane Rural State Roads in Washington State Arizona State University, 2008. 257 p.

163. Al-Masaeid H.R., Jordan I., Sinda K. C., Kuczen T. Jordan University of Science and Technology. Purdue University, West Lafayette, Ind. Transportation Research Record №1401.

164. Highway Safety Manual Knowledge Base 2009. 663 p.

165. Washington S., Dixon K., White D., Chi-Hung E. Wu. Investigation of Fatal Motor Vehicle Crashes on Two- Lane Rural Highways in Georgia Atlanta, Georgia, 2002. 205 p.

166. Harwood D.W., Council F.M., Hauer E., Hughes W.E., Vogt A. Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways, 2000. 194p .

167. Jerome W. Hall. Safety Effects of Roadway Design Decisions Transportation Research Record, Washington №1512. 1995. 42 p.

168. Жук В.М., Рибалова О. В., Бригада О.В., Мацак А.О. Визначення впливу природних чинників на формування поверхневого стоку. *International Trends in Science and Technology*. Warsaw Poland ,2018. С. 10–18.

169. Калинин А.В. Зависимость коэффициента Шези от числа Фруда/ Весник науки и образования Северо-Запада России, Т.5, №3, 2019 <http://vestnik-nauki.ru/2019-%d1%82-5-%e2%84%963-2019-v-5-no3/> (дата звернення: 19.03.2020).

170. Guidelines for Road Drainage, Department of the Environment, Heritage and Local Government, 2004. 62 p.

171. Жук В. М., Матлай І. І. Максимальна витрата дощових стічних вод з прямокутних у плані урбанізованих басейнів стоку з водозбірним лотком. // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 86. 2012. С. 203–212

172. Дідура Р.В. Вміст важких металів у дорожньому ландшафті автомагістралі Київ – Одеса. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського* Вип. 28. 2016. № 3-4. С. 57–64.

173. Скрипченко О.В. Підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг : Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. Київ, 2017. 168с.

174. Каськів В.І., Гаврищук В.В. 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. [XX-Conference-08-09-Athens-Greece-book.pdf \(isg-konf.com\)](https://isg-konf.com/XX-Conference-08-09-Athens-Greece-book.pdf)

175. Барабаш М.Б., Корж Т.В., Татарчук О.Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI століттях. в умовах потепління глобального клімату. *Наукові праці УкрНДГМІ*, Вип. 253. Київ, 2004. С. 90–102.

176. Славінська О.С., Стьошка В.В. Визначення основних параметрів дренажних систем мілкового залягання. *Науково-виробничий журнал Автошляховик України* № 6. Київ, 2010. С. 40–44.

177. Леонович И.И., Вырко Н.П. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. Минск, 2013. 332 с.

178. Седергрэн Р.Г. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий (перевод с англ.), Москва Транспорт, 1981. 280 с.

179. Сиденко В.М. Расчёт и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна. Автотрансиздат. 1962. 116 с.

180. Сиденко В.М., Гриднев С.А. Тепломассообмен в слоях дороги. *Строительная теплофизика*. Изд. Энергия, 1966. С. 26–33.

181. Сиденко В.М., Фомин В.А. Водно-тепловой режим городских дорог (на украинском языке), Изд., ХГУ, 1971. 177 с.

182. Сиденко В.М. Автомобильные дороги. Совершенствование методов проектирования и строительства. Киев Будивельник, 1973. 278 с.

183. Леонович И.И., Вырко Н.П., Макаревич С.С., Богданович Т.К., Ярмолик С.В. Оптимальная влажность и максимальная плотность – основа высокой несущей способности и устойчивости земляного полотна. *Строительная наука и техника*. Ч., 2006. С. 66–76.

184. Пузаков Н.А., Золотарь И.А., Сиденко В.М., Тулаев А.Я. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Москва Транспорт, 1971. 414 с.

185. Тарасенко Т.М., Батракова А.Г. Районування ґрунтів сумській області за зволоженням. Науковий вісник будівництва Т. 90. Вип. №4. Харків, 2017. С. 272–275.

186. Славінська О.С., Стьожка В.В. Оптимізація інженерних рішень на прикладі порівняння варіантів конструкцій дренажів мілкового закладення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. Вип. 98. С. 228–237.

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

188. Апталаев М.Н., Жалко М.Е. Влияние водно-теплого режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды. Интернет-журнал Транспортные сооружения, Том 3, №4 (2016) <http://t-s.today/PDF/02TS416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/02TS416

189. Волченкова Г.Я. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений. ВНИИ транспортного строительства, Минстроя СССР.- Москва Транспорт, 1992. 408 с.

190. EN 165933-2:2017 Drain and sewer systems outside buildings. Design. Part 2 Hydraulic design. 2017. 41 p.

191. Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.М., Даденков В.Ю. Справочник по гидравлике. Київ Вища Школа, 1977. 279 с.

192. Большаков В.А., Курганович А.А. Гидрологические и гидравлические расчеты малых дорожных сооружений. 1983. 112 с.

193. КД 52.4.8.03–11. Настанова метеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях. Київ, 2011. 280 с.

194. Константинов Н.М., Чистяков И.В. Расчет системы дорожного водоотвода Москва, 2011. 40 с.

195. 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.

196. 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.

ДОДАТОК А

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



INTERNATIONAL DESIGN INSTITUTE

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи
Гаврищука Владислава Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень Гаврищука В.В. щодо методики проектування водовідвідних та очисних споруд з лінійних у плані водозбірних басейнів, були впроваджені 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 заплавних 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-Старокопистинів на ділянках км 32+000 – км 37+000, км 37+000 – км 45+000, км 45+000 – км 50+000 Рівенська 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»

Головний інженер
ТОВ «Міжнародний проектний інститут»,
к.т.н., ст.наук.співр.



А.Є. Фаль



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Гаврищука Владислава Володимировича за темою «Удосконалення методу проєктування поверхневого водовідведення з автомобільних доріг» впроваджено у навчальний процес, а саме при викладанні 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».

Проректор з навчальної роботи НТУ

професор



О.К. Гришук

Декан факультету

транспортного будівництва НТУ

професор

О.С. Славінська



**Інститут
Укрдорпроект**

Україна, Київ, Червонокацька, 29а
02094, Київ-94, а/с – 101
+ 38 (044) 223-00-20
info@ukrdorprojekt.com

Вих. № ВЛ-UA-ODS-01-275-05/20
Від 27.05.2020

ДОВІДКА

Про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи

Гаврищука Владислава Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень В. В. Гаврищука щодо методики проектування водовідвідних споруд з лінійних у плані водозбірних басейнів, були впроваджені при проектуванні об'єкту: «Реконструкція, будівництво аеродромного комплексу КП «Міжнародний аеропорт «Одеса», а саме при проектуванні водовідведення з покриття штучної злітно-посадкової смуги.

Кандидат технічних наук,

Головний інженер ТОВ «ІНСТИТУТ УКРДОРПРОЕКТ»

Вик. М. І. Белов
+38(050) 312 40 30



А. С. Корецький



ICDI
Integrated Construction
Design Institute

office@icdi.biz
www.icdi.biz

ТОВ "Інститут комплексного проектування
об'єктів будівництва"

03057, м. Київ, Україна, вул. Десятківська, 33а
Код ЄДРПОУ 39994993, ІПН 399949926515
Тел.: +38 044 331 18 43

р/в 26004056113805 в ПАТ КБ "Приватбанк", м. Київ
МФО 380775

Limited Liability Company
"Integrated Construction Design Institute"

03057, Kyiv, Ukraine, 33A Dehtiarivska street
EDRPOU code 39994993, ITN 399949926515
Tel.: +38 044 331 18 43

account 26009056111943 (EUR), account 26001056112843 (USD)
Bank Privatbank, Dnipro, Ukraine, SWIFT code PBANUA2X



№ 91

від 10.06.2022р.

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи Гавришука Владислава Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень В.В. Гавришука щодо методики проектування водовідвідних споруд з лінійних у плані водозбірних басейнів, були впроваджені при проектуванні об'єкту: «Реконструкція вул. Петра Сагайдачного з облаштуванням пішохідної зони в Подільському районі міста Києва».

Головний інженер інституту,



А.Є. Фаль

В.С. Лисий
+38 096 492-46-05

ДОВІДКА**Про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи Гавришука
Владислава Володимировича**

Довідка надана Гавришуку В.В. спеціалісту технічної підтримки ТОВ «АКО Будівельні Елементи Лтд» в тому, що його наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень щодо методу проектування водовідвідних споруд були впроваджені при проектуванні інженерних рішень будівель В04 та В06 інноваційного парку UNIT.City.

Довідка видана для пред'явлення за місцем вимоги.

Директор ТОВ «ТЕБІН.ПРО»



Хуртілов В.М.



ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи
Гавришука Владислава Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень Гавришука В.В. щодо методики проектування водовідвідних та очисних споруд з лінійних у плані водозбірних басейнів, були впроваджені при проектуванні об'єктів інфраструктури: автомобільних доріг, мостів, ШЗПС аеропортів.

Директор ТОВ «АКО Будівельні Елементи Лтд.»



Д.А.Ільїн

Д.І.Нижник
 044-233-67-70(71)

Т.О.Б. «АКО Будівельні Елементи Лтд.»
 04080, м. Київ, вул. Е. Хвощів, 18/14,
 офіс 227, тел. / факс: (044) 230-60-37
 р/р № 26003501314441 у ОБЛНКОСДМУ
 відкриті АТ "ОПІБАНК", м. Київ
 МФО 300626, КПО 31903123
 e-mail: info@aco.com.ua
 www.aco.ua

ДОДАТОК Б

ДОВІДКИ ЩОДО РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕТИЛЬОВАНОГО БЕНЗИНУ



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ (Мінекономіки)

вул. М. Грушевського 12/2, м. Київ, 01008, тел. (044)200-47-53, факс (044)253-63-71
E-mail: meconomy@me.gov.ua, http://www.me.gov.ua, код ЄДРПОУ 37508596

На № б/н від 01.06.2020

Гавришук В.В.
вул. Петрівська, 11, кв. 60,
с. Нові Петрівці, Вишгородський р-н,
Київська область,
07354
vlad.havryshchuk@gmail.com

Шановний Владиславе Володимировичу!

Розглянувши Ваше звернення, що надійшло через Урядовий портал, інформуємо, що на автомобільні бензини поширюється дія Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927 (далі – Технічний регламент).

Додаток 2 до Технічного регламенту містить вимоги щодо характеристик автомобільного бензину, в тому числі щодо концентрації свинцю.

Надання інформації з питання, чи регулюється вміст свинцю у паливі міжнародними зобов'язаннями України чи міжнародними договорами, відноситься до компетенції Міністерства енергетики України, яке відповідно до абзацу другого підпункту 1 пункту 3 постанови Кабінету Міністрів України від 27.05.2020 № 425 "Деякі питання оптимізації системи центральних органів виконавчої влади" забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива (крім забезпечення енергоефективності будівель та інших споруд) та у сфері нагляду (контролю) у галузях електроенергетики і теплопостачання.

З повагою

**Заступник Міністра –
Торговий представник України**

Тарас КАЧКА

Павлюченкова 596-67-81



ДОКУМЕНТ СЕД Мінекономіки АСКОД

Сертифікат 58E2D9E7F900307B040000005C792C00818B7F00

Підписувач Качка Тарас Андрійович

Дійсний з 31.01.2020 9:35 по 31.01.2022 9:35



3432-06/35472-09 від 09.06.2020



ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ

01042, м. Київ, Новопечерський пров. 3, корпус 2, тел./факс: (044) 521-20-40, тел. (044) 521-20-56

E-mail: info@dei.gov.ua, сайт: www.dei.gov.ua, код згідно з ЄДРПОУ 37508533

№ _____

від “__” _____ 20__ р.

на № _____

від “__” _____ 20__ р.

**Гавришук Владислав
Володимирович**

вул. Петрівська, 11, с. Нові Петрівці,
Вишгородський район, Київська
область, 07354

Про розгляд звернення



Державна екологічна інспекція України розглянула звернення гр.Гавришак В.В. від 31.05.2020 до Урядового порталу (реєстраційний № ГА-10724350), що зареєстровано в Держекоінспекції 01.06.2020 № 425-УГЛ про надання інформації щодо державного регулювання застосування етильованого бензину для автомобільного транспорту, а також регулювання питання вмісту свинцю у паливі міжнародними зобов'язаннями України чи міжнародними договорами та повідомляє.

Відповідно до пункту 3 Положення про Державну екологічну інспекцію України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19.04.2017 № 275 (далі – Положення), основними завданнями Держекоінспекції є:

реалізація державної політики із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів;

здійснення у межах повноважень, передбачених законом, державного нагляду (контролю) за додержанням вимог законодавства, зокрема, щодо охорони земель, надр, охорони і використання територій та об'єктів природно-заповідного фонду; охорони, захисту, використання і відтворення лісів; збереження, відтворення і невиснажливого використання біологічного та ландшафтного різноманіття; ведення мисливського господарства та здійснення полювання; охорони, раціонального використання та відтворення вод і відтворення водних ресурсів; охорони атмосферного повітря; формування, збереження і використання екологічної мережі; стану навколишнього природного середовища; поводження з відходами, небезпечними хімічними речовинами, пестицидами та агрохімікатами; здійснення заходів біологічної і генетичної безпеки стосовно біологічних об'єктів природного середовища під

час створення, дослідження та практичного використання генетично модифікованих організмів у відкритій системі.

Згідно із підпунктом 3¹ пункту 4 Положення, Держекоінспекція здійснює державний ринковий нагляд у межах сфери своєї відповідальності.

У межах реалізації зазначених повноважень, Держекоінспекція та її територіальні органи, здійснюють перевірки розповсюджувачів та виробників палива (суб'єктів господарювання) з приводу дотримання ними вимог Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927.

Враховуючи вищевикладене, Держекоінспекція не є розпорядником інформації з порушених у Вашому зверненні питань.

Голови

А. МАЛЬОВАНІЙ



Сергій Шумський (044) 521-20-40

ДОДАТОК В

СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ГІДРОМЕТЕОСЛУЖБ



УКРАЇНА
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР
(УкрГМЦ)

вул. Золотоверхня, 6В, м. Київ-30, 01601, тел/факс: 279-10-80, 239-93-87, E-mail: office@ukrmeteo.gov.ua

24.01.20р. № 01-18/ *АБ*

Директору ТОВ «БІГ-СІТІ ЛТД»
Плахтію О.Б.

На № 21/01 від 21.01.2020р.

На Ваш запит №21/01 від 21.01.2020 року щодо дощів та злив, які досягають критеріїв стихійного явища у Вінницькій області та у м.Вінниця повідомляємо.

Відповідно до «Настанови з метеорологічного прогнозування»:

• **стихійні небезпечні метеорологічні явища II рівня небезпечності (СМЯ II)** – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження несуть загрозу для населення та порушують функціонування господарського комплексу країни. **До СМЯ II відносяться:** **сильна злива** (кількість опадів 30-49 мм за 1 годину та менше), **сильний дощ** (кількість опадів 50-79 мм за 12 годин та менше), **сильний тривалий дощ** (кількість опадів 100-149 мм за 12-48 годин і менше);

• **стихійні небезпечні метеорологічні явища III рівня небезпечності (СМЯ III)** – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження створюють загрозу життю людей на значних територіях, призводять до масштабних пошкоджень об'єктів господарського комплексу країни, завдають шкоди довкіллю. **До СМЯ III відносяться:** **надзвичайна злива** (кількість опадів 50 мм і більше за 1 годину та менше), **надзвичайний дощ** (кількість опадів 80 мм і більше за 12 годин та менше), **надзвичайний тривалий дощ** (кількість опадів 150 мм і більше за 12-48 годин і менше).

Впродовж 1999-2019 рр. чіткої просторово-часової закономірності випадання дощів, що досягли критеріїв СМЯ II та СМЯ III не виявлено: можуть спостерігатися практично щороку впродовж квітня-жовтня, найбільша ймовірність – влітку; початок припадає на будь-яку частину доби; найчастіше випадають дощі з кількістю опадів 51-60 мм – 7 випадків, 61-70 мм – 4 випадки, 71-80 мм – 5 випадків, 81-90 мм – 1 випадок, 91-100 мм – 2 випадки, 101-110 мм – 1 випадок. **Випадків сильних тривалих та надзвичайно тривалих дощів впродовж зазначеного періоду не відмічено.**

Сильні та надзвичайні зливи, що досягли критеріїв СМЯ II та СМЯ III також характеризуються значною просторовою неоднорідністю; можуть спостерігатися в основному у період з червня до серпня; початок припадає на денні та вечірні

години; тривалість злив від 15 до 60 хвилин; найчастіше випадають сильні зливи з кількістю опадів 31-42 мм (5 випадків), 2 випадки надзвичайних злив – 53-58 мм.

За оперативними даними метеорологічних станцій впродовж 1999-2019рр. відмічені стихійні метеорологічні явища II та III рівня небезпечності:

Назва пункту	Явище	Кількість опадів *	Тривалість	Інтенсивність злив /мм/хв/	Дата /день, місяць, рік/	Час початку	Час закінчення
Хмільник	сильна злива	31 мм	1 година	0,5	28.06.1999	12:00	13:00
Білопідля	сильна злива	40 мм	15 хвилин	2,7	24.06.2002	15:35	15:50
Жмеринка	сильний дощ	65 мм	5 годин	-	12.08.2002	18:00	23:10
Могилів-Подільський	сильний дощ	68 мм	7 годин	-	12-13.08.2002	18:15	01:15
Могилів-Подільський	надзвичайний дощ	106 мм	4 год 40 хв	-	03.07.2003	18:00	22:40
Хмільник	надзвичайна злива	53 мм	1 година	0,9	26.07.2004	11:10	12:10
Хмільник	сильний дощ	76 мм	3 години	-	30.07.2004	13:00	16:00
Білопідля	сильна злива	34 мм	15 хвилин	2,3	01.08.2004	14:25	14:40
Вінниця	сильний дощ	50 мм	1 год 45 хв	-	01.08.2004	12:05	13:50
Вінниця	сильний дощ	59 мм	5 годин	-	22.08.2004	12:50	17:50
Хмільник	сильний дощ	55 мм	7 год 20 хв	-	18.08.2005	00:20	07:40
Білопідля	сильний дощ	74 мм	3 години	-	01.08.2005	15:00	18:00
Вінниця	сильний дощ	63 мм	8 год 20 хв	-	04-05.06.2006	18:00	05:55
Хмільник	сильна злива	42 мм	1 година	0,7	30.07.2006	14:35	15:35
Хмільник	сильний дощ	74 мм	10 год 25 хв	-	19.08.2007	00:20	10:45
Могилів-Подільський	сильний дощ	73 мм	11 годин	-	23-24.07.2008	18:52	05:52
Могилів-Подільський	сильний дощ	76 мм	12 годин	-	25-26.07.2008	12:00	00:00
Могилів-Подільський	надзвичайна злива	58 мм	1 година	1,0	16.05.2009	18:40	19:40
Хмільник	сильний дощ	55 мм	12 годин	-	02-03.06.2009	18:30	06:30
Хмільник	надзвичайний дощ	87 мм**	12 годин	-	13.10.2009	06:00	18:00
Хмільник	сильний дощ	59 мм	6 годин	-	14.10.2009	02:35	08:35
Могилів-Подільський	надзвичайний дощ	93 мм	10 год 05 хв	-	29-30.06.2010	15:30	01:35
Могилів-Подільський	сильний дощ	62 мм	12 годин	-	10.07.2010	15:05	19:55
Хмільник	сильний дощ	54 мм	6 годин	-	23-24.06.2011	21:25	03:25
Гайсин	сильна злива	33 мм	1 година	0,6	15.07.2012	17:20	18:20
Білопідля	надзвичайний дощ	96 мм	5 год 23 хв	-	14.06.2018	13:59	19:22
Хмільник	сильний дощ	53 мм	11 год 04 хв	-	23.07.2018	00:18	11:22

* Чисельно кількість опадів в міліметрах дорівнює кількості кілограмів води, яка вилася на майданчик в 1 кв. метр, тобто 1 мм = 1 кг / 1 м² (наприклад: 50 мм=50 кг/1м²).

** Найбільша кількість опадів за весь період метеорологічних спостережень для Хмільника.

Впродовж 2000-2001рр., 2013-2017рр. та у 2019 році дощів та злив **II та III рівня небезпечності** не відмічено.

За весь період метеорологічних спостережень найбільша кількість опадів у Вінницькій області відмічена в Іллінецькому районі - 212 мм за добу у серпні 1955 року, у м.Вінниці – 112 мм 18 червня 1985 року.

За останні **50 років** відмічено найбільшу кількість опадів: у Липовці – надзвичайно тривалий дощ – 153 мм за 46 годин 36 хвилин 18-20 серпня 1972 року, у Жмеринці – надзвичайний дощ – 148 мм за 12 годин 20 серпня 1976 року, у Могилів-Подільському – надзвичайна злива – 58 мм за 1 годину 16 травня 2009 року, у м.Вінниці – сильний дощ – 68 мм за 9 годин 2 серпня 1989 року.

Директор центру
Вик. Олійник З.Я.
(044) 239-93-03



Микола КУЛЬБІДА



Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ЦЕНТРАЛЬНА ГЕОФІЗИЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ
імені БОРИСА СРЕЗНЕВСЬКОГО
(ЦГО ім. Бориса Срезневського)

пр. Нахичев. 39, корпус 2, м. Київ-28, 03028, телефон: (044) 525-94-58, 525-69-69
 WEB-адреса <http://www.cgo-sreznevskyi.kiev.ua>
 електронна пошта info@cgo.gov.ua
 Код ЄДРПОУ 22864480

18 02 2020 р. № 02-14.1 460/000-72 На № _____ від _____

Директору ТОВ «АКО Будівельні
 Елементи Лтд.»
 Дмитру ІЛЬИНУ

Відповідно до Вашого замовлення надаємо метеорологічну інформацію - максимальну добову кількість опадів по метеостанції Київ за період 1970-2019 роки.

Додаток: 1 таблиця на 3-х аркушах.

Заступник директора

Сергій ГРИШКО

Додаток 52560/0

Таблиця

Метеостанція Київ

Максимальна добова кількість опадів, мм

Рік	місяць																								За рік
	січень		лютий		березень		квітень		травень		червень		липень		серпень		вересень		жовтень		листопад		грудень		
	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	
1970	26	15	34	9	5	26	15	13	22	3	25	18	17	35	34	14	16	7	35	23	11	18	14	39	35
1971	14	3	10	7	10	4	8	25	9	7	26	13	16	7	19	26	28	20	9	23	12	20	17	4	28
1972	24	10	6	11	7	0	13	23	12	12	13	1	18	10	30	23	39	24	21	22	12	13	2	10	39
1973	9	10	22	3	13	2	10	12	17	13	7	19	15	4	10	16	11	15	8	19	8	2	32	1	32
1974	5	30	6	5	3	16	5	14	11	13	18	10	88	1	42	7	42	7	10	9	32	27	8	30	88
1975	9	30	3	—	10	27	12	16	8	10	20	3	20	4	7	12	4	10	13	19	6	26	28	18	28
1976	7	31	3	14	12	8	12	13	13	13	12	13	26	13	18	18	20	—	5	4	7	23	9	31	26
1977	6	12	19	13	13	31	42	17	5	13	26	19	14	35	30	30	10	10	3	7	11	3	8	1	42
1978	27	31	14	10	9	—	8	13	15	13	25	27	58	24	18	9	23	26	11	6	6	30	12	30	58
1979	13	10	7	13	15	22	22	4	10	6	8	19	16	15	25	3	13	13	18	31	22	—	8	31	25
1980	22	1	5	12	16	10	13	23	14	10	31	35	30	13	8	16	11	16	12	21	15	7	21	1	31
1981	—	—	0	14	14	10	22	20	14	3	12	17	47	3	11	17	5	3	20	22	12	3	17	14	47
1982	6	30	13	20	5	13	11	14	10	10	29	24	47	1	21	17	17	3	13	9	10	17	6	16	47
1983	9	16	8	3	10	11	11	7	61	3	12	20	9	26	13	12	15	8	13	9	18	20	6	26	61
1984	21	21	24	6	23	4	5	1	17	13	22	5	22	3	6	13	12	13	10	15	12	11	17	15	24
1985	23	7	7	11	7	3	12	16	54	11	27	31	17	6	25	19	21	—	8	13	21	—	12	1	51
1986	17	3	9	13	5	24	13	13	13	13	16	25	26	23	42	23	6	23	8	24	9	19	23	30	42
1987	24	12	2	15	14	6	41	30	29	8	17	1	27	35	35	6	15	10	10	13	21	23	9	50	41
1988	2	13	5	12	14	1	11	10	22	6	38	3	21	—	39	10	20	7	7	16	8	16	10	—	39
1989	3	15	24	20	21	3	9	1	11	8	37	10	24	1	24	2	45	1	15	1	11	5	10	16	45
1990	7	23	23	16	2	1	31	9	18	10	18	11	11	14	26	3	11	9	14	37	12	18	13	11	31
1991	5	2	13	16	3	5	5	20	28	1	27	35	23	26	10	19	3	16	12	24	5	6	6	31	57
1992	4	1	8	6	19	19	33	9	30	38	14	13	31	3	16	6	24	10	17	27	34	13	4	—	34
1993	7	12	15	14	11	10	8	10	6	10	16	14	33	13	19	36	32	—	7	20	9	8	14	36	33
1994	10	15	4	7	16	1	11	15	11	36	19	5	42	10	16	13	7	1	11	4	16	19	13	12	42

продовження таблиці

Метеостанція Київ

Максимальна добова кількість опадів, мм

Рік	січень		лютий		березень		квітень		травень		червень		липень		серпень		вересень		жовтень		листопад		грудень		За рік
	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	Добовий максимум	Число	
1995	14	24	15	27	16	17	13	27	36	22	21	26	22	17	45	5	57	30	4	21	16	11	6	26	57
1996	10	27	19	24	13	29	14	7	8	33	32	8	33	26	20	8	35	15	14	24	27	23	11	3	35
1997	2	6	11	27	8	20	8	23	18	20	16	1	19	21	12	27	19	8	13	13	17	20	26	5	26
1998	8	9	6	13	6	11	34	13	15	10	30	13	16	18	15	13	8	13	15	21	28	11	9	5	34
1999	19	34	9	9	10	27	5	18	13	18	29	29	21	13	59	14	5	25	24	8	24	21	25	29	59
2000	5	17	18	18	7	19	9	22	25	22	15	13	17	16	7	12	43	7	0	25	14	38	4	14	43
2001	17	31	25	1	26	2	20	14	11	29	32	12	1	19	9	22	17	25	8	29	18	28	11	12	32
2002	5	30	10	10	10	3	14	7	34	31	82	5	7	30	30	13	12	27	28	8	15	9	33	9	82
2003	11	10	7	6	10	12	8	8	19	27	5	6	16	5	29	1	38	1	32	6	12	20	13	6	38
2004	7	3	8	5	5	27	7	12	16	6	3	29	28	24	44	1	36	9	9	17	14	24	9	19	44
2005	29	27	11	17	16	6	22	22	15	8	14	12	14	16	23	7	3	18	28	17	16	23	17	3	29
2006	10	19	8	17	10	1	13	13	56	23	35	14	43	11	14	30	11	1	11	15	4	6	5	25	56
2007	11	24	10	17	4	23	3	9	9	27	29	7	28	22	47	13	12	19	7	23	34	11	6	3	47
2008	10	24	6	19	9	25	25	23	11	22	47	14	28	10	17	25	40	23	8	6	18	27	39	8	47
2009	8	24	14	10	10	14	9	25	9	25	12	8	10	8	8	8	3	29	7	16	8	18	29	29	29
2010	12	6	11	3	5	13	17	24	23	16	7	15	24	6	5	27	24	1	12	21	17	29	12	9	24
2011	6	21	8	12	3	25	11	8	14	6	61	37	24	17	13	3	13	29	44	9	2	19	9	26	61
2012	11	22	10	27	6	17	19	18	21	16	22	10	10	13	47	13	14	28	13	16	19	6	40	11	47
2013	13	31	20	9	17	23	13	8	6	14	19	29	9	27	24	29	34	13	5	16	23	22	8	9	47
2014	7	22	3	17	4	19	7	33	34	18	25	26	31	11	20	16	38	23	14	16	5	23	7	11	38
2015	11	20	25	3	11	13	3	20	28	15	5	26	22	28	1	1	16	6	22	21	15	22	6	1	28
2016	17	16	19	11	15	1	43	15	35	19	6	10	20	21	14	18	4	23	40	9	16	13	12	12	43
2017	8	8	16	6	5	19	13	8	12	30	10	17	16	26	15	38	40	26	29	9	9	27	23	18	40
2018	7	2	9	9	15	3	5	13	11	14	68	10	17	23	7	19	27	10	5	3	9	14	15	1	68
2019	16	23	9	12	8	27	23	29	25	25	26	27	36	14	15	8	11	29	9	4	11	11	6	26	36

Підписавши ВНГ ГДА МГС

Ірина ДУБРОВИНА

ДОДАТОК Г

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

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.