

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

**Шевчук Ольга Володимирівна**



УДК 628.212

**ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ  
МАЙДАНЧИКІВ У МІСЬКИХ СИСТЕМАХ ДОЩОВОГО  
ВОДОВІДВЕДЕННЯ**

05.23.04 – водопостачання, каналізація

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Рівне – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник –** доктор технічних наук, професор **Ткачук Олександр Андрійович**, Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри міського будівництва та господарства.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Хоружий Петро Данилович**, Інститут водних проблем і меліорації НААН, головний науковий співробітник;

кандидат технічних наук, доцент **Жук Володимир Михайлович**, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри гідравліки і сантехніки.

Захист дисертації відбудеться “ 29 ” \_\_\_\_\_ червня \_\_\_\_\_ 2017 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 47.104.01 у Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, ауд. 147.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: вул. Олекси Новака, 75, м. Рівне, 33028.

Автореферат розісланий “ 26 ” \_\_\_\_\_ травня \_\_\_\_\_ 2017 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доцент



В.П. Востріков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Регулювання дощового стоку є важливим завданням у вирішенні проблеми підтоплення і затоплення міських територій. Серед методів та способів регулювання стоку сьогодні важливого значення набувають ті, що дозволяють акумулювати дощові опади безпосередньо в місцях випадання. Вони найбільше сприяють підтриманню водного балансу, не допускаючи підтоплення територій, зменшують максимальні навантаження на існуючі системи водовідведення та затримують забруднення. Одним з таких способів є влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями для тимчасового затримання дощових вод і наступним їх дренажу у споруди систем водовідведення. Використання різноманітних видів водопроникних покриттів дозволяє значно збільшити площу водопроникних територій, а отже, і об'єми тимчасово затриманих дощових вод.

Однак, на сьогодні не вирішеними є питання визначення науково обґрунтованих значень основних показників регулювання дощового стоку у міських системах дощового водовідведення при включенні до їх складу інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до завдань загальнодержавних цільових програм «Питна вода України» на 2011–2020 роки» від 03.03.2005 р. № 2455-IV, «Про загальнодержавну цільову програму розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року» від 24.05.2012 р. № 4836-VI, у рамках наукового напрямку кафедри міського будівництва та господарства Національного університету водного господарства та природокористування (комплексна кафедральна тематика «Реконструкція та утримання міських територій, будівель та інженерних комунікацій», державний реєстраційний номер 0108U009332).

**Мета і задачі досліджень.** Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при підключенні їх до міських систем водовідведення. Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

- виконати теоретичні дослідження та математичне моделювання процесів наповнення і спорожнення інфільтраційних майданчиків;
- провести експериментальні дослідження процесів наповнення та спорожнення на лабораторній моделі інфільтраційного майданчика при різних значеннях розрахункової інтенсивності надходження дощових вод;
- за результатами теоретичних і експериментальних досліджень визначити залежності між основними розрахунковими параметрами інфільтраційних майданчиків: об'ємом затриманого стоку, дренажною витратою, висотою завантаження, площами майданчика та водозбору;
- розробити методику інженерного розрахунку та рекомендації щодо забезпечення ефективного дощового водовідведення з міських територій з використанням інфільтраційних майданчиків.

**Об'єкт дослідження** – процес наповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків, включених у систему дощового водовідведення населених пунктів.

**Предмет дослідження** – параметри інфільтраційних майданчиків (об'єми затриманих дощових стоків, дренажні витрати, висота і склад завантаження, площі майданчиків і водозборів тощо).

**Методи досліджень.** Теоретичні – проводились із застосуванням методів математичного аналізу (диференціальні та інтегральні обчислення), математичної статистики (кореляційно-регресійного аналізу, статистичного оцінювання), числові методи. Експериментальні – ґрунтуються на результатах досліджень моделі інфільтраційного майданчика на фізичній установці. При цьому вимірювання дренажної витрати, інтенсивності модельного притоку води проводились об'ємним способом із застосуванням електронних ваг Elenberg KS130, гранулометричного складу завантаження – ситовим аналізом за допомогою стандартного набору сит калібром 0,25...50 мм, рівнів води – за допомогою п'єзометричних трубок.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- розроблено математичну модель наповнення дощовими водами та спорожнення інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при підключенні їх до систем дощового водовідведення;

- вперше обґрунтовано математичну модель пересічної схеми надходження дощових вод на інфільтраційні майданчики та встановлено, що до початку стабільного притоку дощових вод на інфільтраційний майданчик з території водозбору надходять такі ж їх об'єми як і після закінчення дощу;

- отримано аналітичні залежності для визначення розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків, зокрема об'ємів дощових вод, затриманих у їх завантаженні, та дренажних витрат при підключенні інфільтраційних майданчиків до споруд системи водовідведення;

- встановлено особливості процесу накопичення дощового стоку на інфільтраційних майданчиках в залежності від характеристик їх завантажень та кліматичних параметрів атмосферних опадів, що дозволило обґрунтувати розрахункові об'єми затриманих вод і відповідні їм параметри майданчиків.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено інженерну методику розрахунку інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при підключенні їх до систем дощового водовідведення;

- розроблено рекомендації щодо влаштування інфільтраційних майданчиків з визначенням їх конструктивних особливостей та науково обґрунтованих значень розрахункових параметрів;

- обґрунтовано ефективність влаштування інфільтраційних майданчиків у зменшенні пікових навантажень на системи міського водовідведення.

**Особистий внесок здобувача.** Виконано аналіз сучасних методів регулювання дощового стоку та методик розрахунку споруд фільтраційного типу. Обґрунтовано математичну модель затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках. Спроектовано та змонтовано лабораторну установку для експериментальних

досліджень процесів наповнення і спорожнення моделі інфільтраційного майданчика. Виконано математичну обробку та узагальнення отриманих результатів.

Розроблено методику інженерного розрахунку інфільтраційних майданчиків та рекомендації щодо конструктивних особливостей влаштування інфільтраційних майданчиків, що використані у положеннях національного стандарту ДСТУ–Н Б В.1.1–38:2016 «Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення».

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати виконаних теоретичних та експериментальних досліджень доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення», Рівне, НУВГП, 2015р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми водопостачання та водовідведення. Вода – 2015». Одеса, ОДАБА, 2015 р.; Міжнародному водному форумі «Актуальні проблеми використання і перспективи розвитку водного господарства». Рівне, НУВГП, 2015 р.; I Міжнародній науково-практичній конференції «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг». Львів, НУ «Львівська політехніка», 2015 р.; The 8th Eastern European Young Water Professionals Conference, Gdańsk University of Technology. Гданськ, Польща, 2016 р.; VII Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур». Харків, ХНУБА, 2016 р.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 друкованих праць, серед яких 9 – у фахових виданнях України, та 1 – у науковому періодичному виданні інших держав.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації 203 сторінки, включаючи список літератури із 146 назв на 16 сторінках, 19 таблиць і 11 додатків на 42 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** дисертації проведено аналіз причин затоплень міських територій, огляд основних методів регулювання дощового стоку та обґрунтування вибору дослідження роботи інфільтраційних майданчиків. Проаналізовано конструктивні особливості влаштування інфільтраційних майданчиків, а також відомі методи дослідження формування дощового стоку та методи розрахунку основних параметрів інфільтраційних майданчиків. На основі проведеного аналітичного огляду сформульовано задачі досліджень.

Питанням дослідження формування та регулювання стоку дощових вод з урбанізованих територій займалися вітчизняні та закордонні вчені: Бабченко І.В., Большаков В.О., Бошота В.В., Вовк Л.І., Жук В.М., Константинов Ю.М., Корінько І.В., Матлай І.І., Пантелят Г.С., Ткачук С.Г., Ярошенко Ю.В., Абрамов Л.Т., Алексєєв М.І., Белов М.М., Горбачев П.Ф., Дикаревський В.С., Каліцун В.І., Курганов А.М., Молоков М.В., Адамс Б., Джеймс В., Дзьопак Й., Дінгман С., Майс Л., Росман Л., Фергюсон Б., Хортон Р., Хубер В., Шулер Т. та ін.

Ці вчені зробили значний внесок у дослідження формування розрахункових витрат дощового стоку за методом граничної інтенсивності (Алексеев М.І., Дикаревский В.С., Курганов А.М., Молоков М.В.), дослідження окремих методів і режимів роботи споруд для регулювання дощового стоку (Жук В.М., Бошота В.В., Вовк Л.І., Фергюсон Б.), удосконалення методів розрахунку гідрографів притоку дощових стічних вод (Жук В.М., Вовк Л.І., Матлай І.І.). Роботи вчених Жука В.М., Вовк Л.І., Бошоти В.В., Дзьопак Й., Фергюсон Б., та ін. присвячені дослідженню методів регулювання дощового стоку. У роботах Вовк Л.І., Жука В.М., Попадюка І.Ю., Дзьопак Й. вирішуються питання регулювання дощового стоку з використанням різного роду збірників дощових вод, а у роботах Жука В.М. і Бошоти В.В. – ексфільтраційних траншей.

Аналіз літературних джерел та розглянутих методів показує, що на сьогодні немає єдиного загально визнаного наукового підходу щодо питань формування дощового стоку. Існуючі методи розрахунків базуються на суттєвих спрощеннях, не враховують багатьох факторів, що впливають на гідрологічні та гідравлічні процеси (зокрема, об'єм затриманих опадів, тривалість випадання дощу і міждощового періоду тощо), мають суто емпіричний характер і обмежений діапазон застосування. Спроби врахувати додаткові впливові фактори значно ускладнює розрахунки і потребує значних об'ємів пошукових робіт для конкретизації величин впливових факторів, що не завжди може бути реалізоване на практиці.

Однак, всі засвідчують наявність трьох фаз надходження дощових вод із території стоку до розрахункової споруди: концентрації стоку, сталого режиму притоку і зниження стоку. Гідрографи притоку дощових вод в кожній із фаз залежно від поставлених задач можуть бути описані простими фізично обґрунтованими математичними моделями. Максимальні гідрологічні навантаження на споруди дощового водовідведення можуть бути розраховані на основі існуючих методів, зокрема, граничної інтенсивності дощу, однак з уточненням розрахункової тривалості дощу.

Вагомий внесок у дослідження гідравліки фільтраційних потоків зробили Олійник О.Я., Поляков В.Л., Хлапук М.М., Костяков А.Н., Акан О., Гуо Дж., Грін В., Емпт Г., Дінгман С., Хортон Р., Філіп та інші. У роботах Олійника О.Я., Полякова В.Л., Хлапука М.М. широко висвітлені питання математичного моделювання фільтрування води через зернисті завантаження із процесами масообміну. Однак їх фільтраційні моделі не передбачають встановлення залежностей накопичених об'ємів води і величин дренажних витрат на інфільтраційних майданчиках для урбанізованих територій від тривалості дощу. Інфільтраційні методи Гріна та Емпта, Костякова, Хортон, Філіпа враховують зменшення інтенсивності поверхневого стоку в часі. Однак, вони потребують розширених відомостей про характеристики ґрунтів, що не завжди відомі, і не враховують відведення дренажних вод у систему дощового водовідведення.

Проаналізовано ряд чинних закордонних методик, які використовують для розрахунку параметрів інфільтраційних майданчиків. Проте наведені методики є спрощеними та не враховують усіх впливових факторів. Зокрема, значення часу наповнення завантаження майданчика (2 год) та його спорожнення (72 год) прийнято на основі емпіричних досліджень, що часто не відповідає реальним

умовам. Деякі методики в явному вигляді не враховують відношення площі майданчика до площі стоку, а також розрахунок та підбір параметрів дренажної системи. Крім того, відсутність у чинному в Україні нормативі даних для таких параметрів як висота шару опадів розрахункового дощу та його тривалості (фактично відповідає часу концентрації дощового стоку на ділянці) робить неможливим використання деяких закордонних методик для розрахунку висоти завантаження майданчиків в умовах України. Тому важливим є дослідження роботи інфільтраційних майданчиків з визначенням його розрахункових параметрів, таких як: розрахунковий об'єм стоку, який може прийняти майданчик, висота шару завантаження, що залежить від параметрів дощу (інтенсивності та тривалості) та вибраного типу конструкції майданчика, площі майданчика та площі стоку, а також дренажної витрати за умови підключення майданчика до системи водовідведення з врахуванням розрахункової тривалості дощу, що залежить від умов дренажу.

У **другому розділі** описано методики виконання експериментальних досліджень, опис лабораторної установки і визначено її розрахункові параметри. Проведено математичне планування чотирифакторного експерименту з визначення основного вихідного параметра – дренажної витрати, а також статистичну оцінку результатів досліджень.

Для перевірки результатів, отриманих в ході теоретичних досліджень, було запроєктовано та змонтовано експериментальну установку на основі моделі фрагмента інфільтраційного майданчика (рисунок 1).

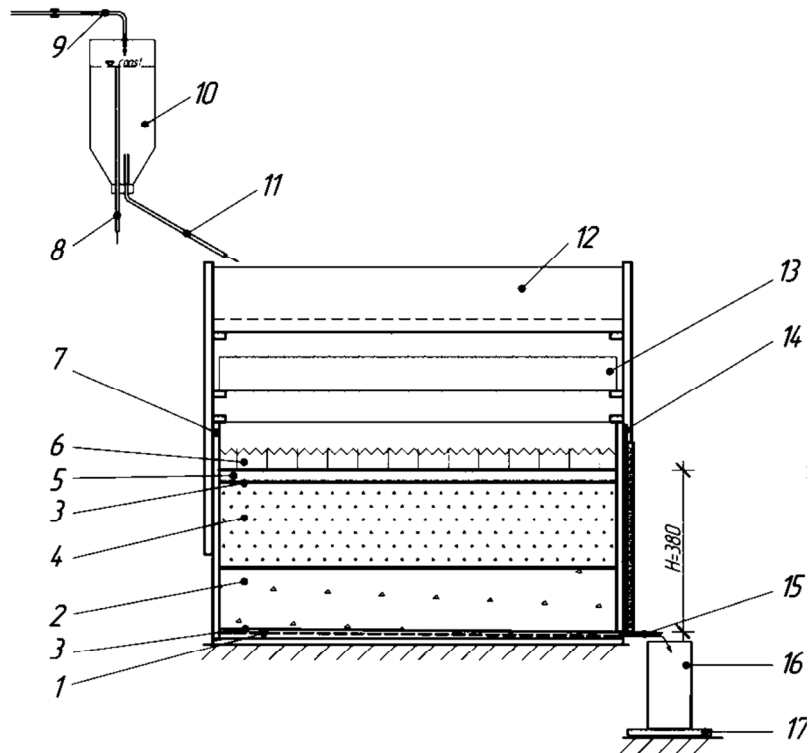


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:

- 1– дренаж; 2 – акумулюючий щебеневий шар; 3 – геотекстиль; 4 – основний шар;
- 5 – підготовчий шар; 6 – газонна решітка; 7 – каркас установки; 8 – переливна трубка;
- 9 – подача води; 10 – ємкість для води; 11 – трубопровід подачі води на установку;
- 12 – контейнер для імітації дощу; 13 – знімний піддон; 14 – п'єзометрична трубка;
- 15 – трубка відведення дренажних вод; 16 – мірна посудина; 17 – електронні ваги

В ході експерименту на дослідній моделі імітувалось надходження на майданчик дощових вод різної інтенсивності. Було прийнято номінальні значення розрахункової інтенсивності модельного дощу  $i_m = 2,0; 5,0$  та  $10,0$  мм/хв, яким під час експерименту відповідали їх дослідні значення:  $2,3; 4,8$  та  $9,0$  мм/хв. Вимірювання дренажної витрати, інтенсивності модельного притоку води проводились об'ємним способом із застосуванням електронних ваг Elenberg KS130, гранулометричного складу завантаження – ситовим аналізом за допомогою стандартного набору сит калібром  $0,25...50$  мм, рівнів води – за допомогою п'езометричних трубок.

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень фільтраційної та водопоглинальної здатності інфільтраційних майданчиків з використанням водопроникних покриттів. Отримано диференціальні рівняння, що описують процеси наповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків.

В процесі наповнення водою інфільтраційного майданчика (рисунок 2) за умови постійної в часі інтенсивності притоку дощових вод на майданчик  $i_m = \text{const}$  та відсутності фільтрації через його дно і бокові стінки на одиницю площі інфільтраційного майданчика надходять дощові води, що рівномірно фільтруються через шар завантаження і дренуються у систему трубопроводів дощової каналізації з витратою  $Q_{op}$ , мл/хв.

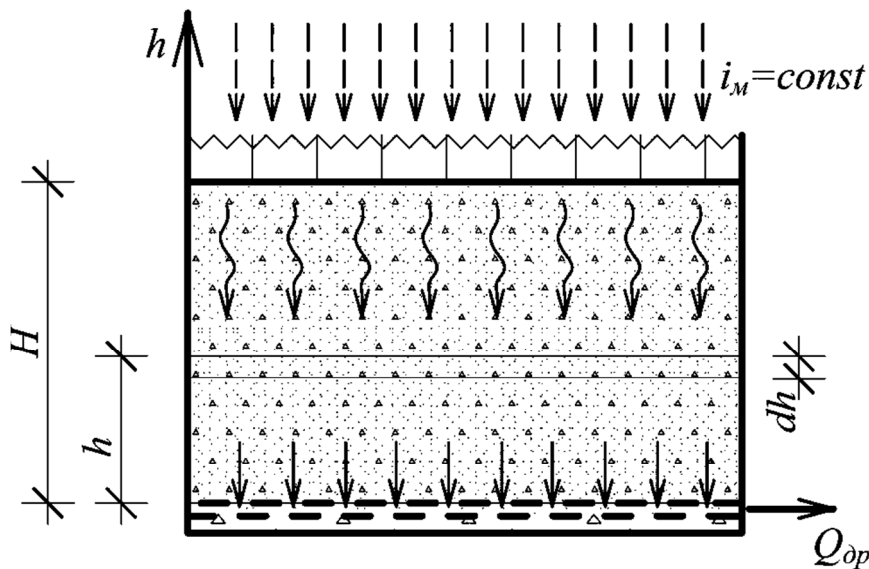


Рисунок 2 – Схема затримання дощових вод інфільтраційним майданчиком

На основі залежності приросту об'єму води в завантаженні від часу отримано диференціальне рівняння зміни висоти шару води при заповненні завантаження

$$dh = \frac{k_{розм}}{p} \cdot \left( i_m - k_e \cdot K_\phi \cdot \frac{h}{H} \right) \cdot dt, \quad (1)$$

де  $k_{розм}$  – коефіцієнт, що враховує розмірність вихідних параметрів;

$K_\phi$  – коефіцієнт фільтрації завантаження, мм/хв;

$k_e$  – коефіцієнт еквівалентності, що враховує частку втрат напору від величини  $h$  і залежить від умов дренажу води через завантаження;

$h$  – висота шару води у завантаженні в момент часу  $t$ , мм;



$H$  – сумарна висота завантаження, мм;

$i_m$  – інтенсивність надходження дощових вод на покриття майданчика, мм/хв;

$p$  – пористість завантаження.

Після розв'язку диференціального рівняння (1) отримано формули зміни в часі:

– висоти шару води при заповненні завантаження

$$h = \frac{H \cdot i_m}{k_e \cdot K_\phi} \cdot (1 - e^{-\varepsilon \cdot t}); \quad (2)$$

– витрат дренажних вод при заповненні завантаження

$$Q_{dp} = k_{розм} \cdot i_m \cdot F_m \cdot (1 - e^{-\varepsilon \cdot t}), \quad (3)$$

де  $F_m$  – площа поверхні майданчика, га, м<sup>2</sup>, см<sup>2</sup> тощо з врахуванням  $k_{розм}$ ;

$\varepsilon$  – показник степеня, який розраховують за формулою

$$\varepsilon = \frac{k_e \cdot K_\phi}{p \cdot H}. \quad (4)$$

Процес спорожнення інфільтраційного майданчика розглянуто одразу після закінчення дощу для тих же умов, що і його заповнення. В результаті отримано диференціальне рівняння зміни висоти шару води у завантаженні при спорожненні

$$dh = \frac{k_{розм}}{p} \cdot \left( i_m \cdot e^{-\alpha(t-t_\delta)} - K_\phi \cdot k_e \cdot \frac{h}{H} - i_{зав} \right) \cdot dt, \quad (5)$$

де  $i_{зав}$  – частина води, що залишається на поверхні завантаження, мм/хв;

$\alpha$  – показник, що залежить від умов спорожнення завантаження;

$t_\delta$  – час завершення дощу (від його початку), хв.

Дане диференціальне рівняння не дозволяє в явному вигляді отримати формулу для визначення зміни рівня води у завантаженні, і може бути вирішене лише числовими методами. Практика таких розрахунків з визначення  $h$  і  $Q_{dp}$  при спорожненні завантаження показала, що вони є громіздкими і малоефективними. Тому для практичного застосування запропоновано спрощені залежності  $Q_{dp}=f(t)$  при спорожненні завантаження (без притоку дощових вод)

$$Q_{dp} = Q_0 (1 - b \cdot (t - t_\delta)), \quad (6)$$

де  $Q_0$  – початкова витрата води в момент часу  $t_\delta$  (закінчення дощу), мл/хв;

$b$  – параметр, що залежить від умов спорожнення (аналог показника  $\alpha$ ), 1/хв.

В результаті отримано диференціальне рівняння зміни висоти шару води у завантаженні майданчика

$$dh = \frac{k_{розм} \cdot Q_0}{p \cdot F_m} \cdot (b \cdot (t - t_\delta) - 1) \cdot dt, \quad (7)$$

а після його розв'язку – пошукову залежність  $h = f(t)$

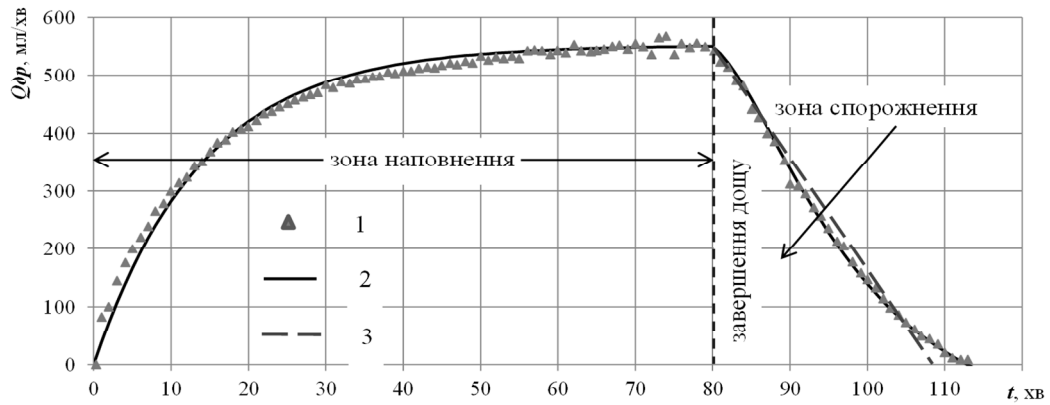
$$h = h_0 - \frac{k_{розм} \cdot Q_0}{p \cdot F_m} \cdot \left( (t - t_\delta) - \frac{b}{2} \cdot (t - t_\delta)^2 \right), \quad (8)$$

де  $h_0$  – початкова висота шару води у завантаженні (в момент часу  $t_\delta$ ), м.

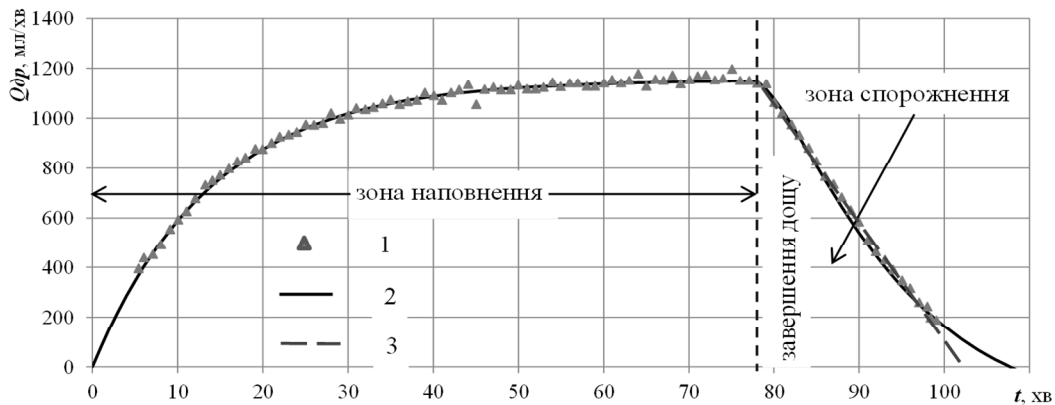
Для перевірки адекватності отриманих диференціальних рівнянь (1) та (5), а

також аналітичних залежностей (2) і (3), які слід розглядати як математичну модель затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках, виконано експериментальні дослідження на лабораторній установці. В ході експерименту на покриття імітувався дощ інтенсивністю  $i_m = 2,3; 4,8$  і  $9,0$  мм/хв.

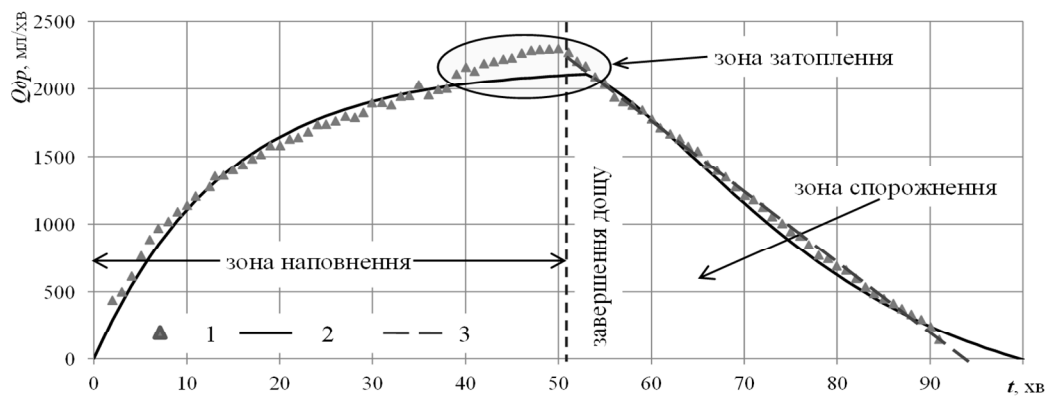
Результати досліджень показали, що протягом перших кількох хвилин стоку взагалі не було, а далі витрата поступово зростала і ставала рівною витраті модельного дощу. Після припинення дощу стік поступово зменшувався. На рисунку 3 показані отримані експериментальні дані зміни витрат дренажних вод в часі та лінії їх теоретичних залежностей.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Графіки зміни в часі витрат дренажних вод для дощового стоку інтенсивністю  $i_m = 2,3$  (а),  $4,8$  (б) і  $9,0$  (в) мм/хв:

1 – експериментальні точки; 2 – теоретичні криві; 3 – лінії спрощених залежностей

Порівняння експериментальних даних та графіків теоретичних кривих процесів заповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків проведено за критерієм Стюдента. Його результати свідчать про статистичну значимість досліджень при співпаданні даних експериментальних досліджень та графіків теоретичних кривих. Таким чином, отримані диференціальні рівняння (1) та (5), а також аналітичні залежності (2), (3), (6), і (8) слід розглядати як математичну модель затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках.

У **четвертому розділі** досліджено процеси формування дощового стоку на інфільтраційних майданчиках за лінійною та пересічною моделями збору дощових вод. Для подальшого аналізу прийнято пересічну модель, як більш універсальну і таку, що має більше поширення на практиці.

Процес формування дощового стоку розглядався для чотирьох фаз (рисунок 4): концентрації стоку, стабільного стоку, притоку після завершення дощу, дренажу після закінчення притоку води на майданчик. Для кожної із цих фаз на основі моделі затримання дощових вод та залежностей формування дощового стоку на інфільтраційних майданчиках визначено диференціальні рівняння зміни в часі об'ємів затриманих дощових вод. На їх основі були отримано формули для визначення об'ємів затриманих дощових вод  $W$ , м<sup>3</sup>, та дренажних витрат  $Q_{dp}$ , м<sup>3</sup>/хв:

*I-а фаза* ( $0 < t < \Delta t_{cm}$ ):

$$W = \frac{10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm}}{\Delta t_{cm} \cdot \varepsilon^2} \cdot \left( 1 - (1 + \varepsilon \cdot t) \cdot e^{-\varepsilon \cdot t} \right); \quad (9)$$

$$Q_{dp} = 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \frac{t}{\Delta t_{cm}} \left( 1 - e^{-\varepsilon \cdot t} \right). \quad (10)$$

*II-а фаза* ( $\Delta t_{cm} < t < t_{\partial}$ ):

$$W = W_1 + \frac{10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm}}{\varepsilon} \cdot \left( e^{-\varepsilon \cdot t_n} - e^{-\varepsilon \cdot t} \right); \quad (11)$$

$$Q_{dp} = 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon \cdot t} \right). \quad (12)$$

*III-я фаза* ( $t_{\partial} < t < t_3$ ;  $t_3 = t_{\partial} + \Delta t_{cm}$ ):

$$W = W_2 + 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \left( -\frac{1}{\varepsilon} \cdot \left( e^{-\varepsilon \cdot t} - e^{-\varepsilon \cdot t_{\partial}} \right) - \frac{(t - t_{\partial})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} + \frac{\varepsilon \cdot (t - t_{\partial})^3}{6 \cdot \Delta t_{cm}} \right); \quad (13)$$

$$Q_{dp} = 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon \cdot t} - \frac{\varepsilon \cdot (t - t_{\partial})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right). \quad (14)$$

*IV-а фаза* ( $t_3 < t < t_{cn}$ ;  $t_{cn}$  – час повного спорожнення):

$$W = W_3 - 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon \cdot t_3} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta t_{cm}}{2} \right) \cdot \left( t - t_{\partial} - \Delta t_{cm} - \frac{\varepsilon}{4} \cdot (t - t_3)^2 \right); \quad (15)$$

$$Q_{dp} = 10 \cdot i_{\partial} \cdot F_{cm} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon \cdot t_3} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta t_{cm}}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon}{2} \cdot (t - t_3) \right), \quad (16)$$

де  $F_{cm}$  – площа стоку, з якої вода поступає на майданчик, га;

$i_{\partial}$  – інтенсивність дощу, мм/хв;

$\Delta t_{cm}$  – тривалість формування стабільного притоку дощових вод на інфільтраційний майданчик, хв.

Отримані залежності (9)÷(16) слід розглядати як модель регулювання дощового стоку на інфільтраційних майданчиках. Для кожної з 4-ох фаз визначені відносні об'єми  $W'$  затриманих дощових вод та дренажні витрати  $Q'$  після ділення їх розмірних значень на значення величин загального об'єму і витрати стабільного притоку. Для них побудовано графіки залежностей  $W'=f(t')$  та  $Q'=f(t')$  (рисунок 4).

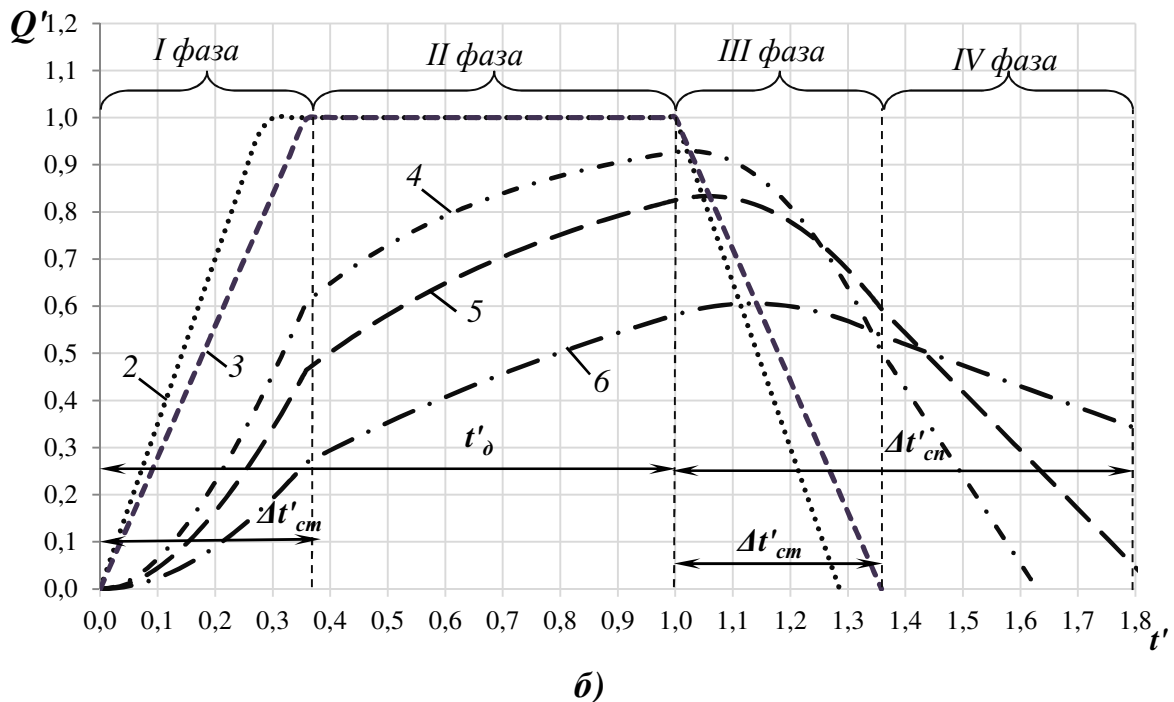
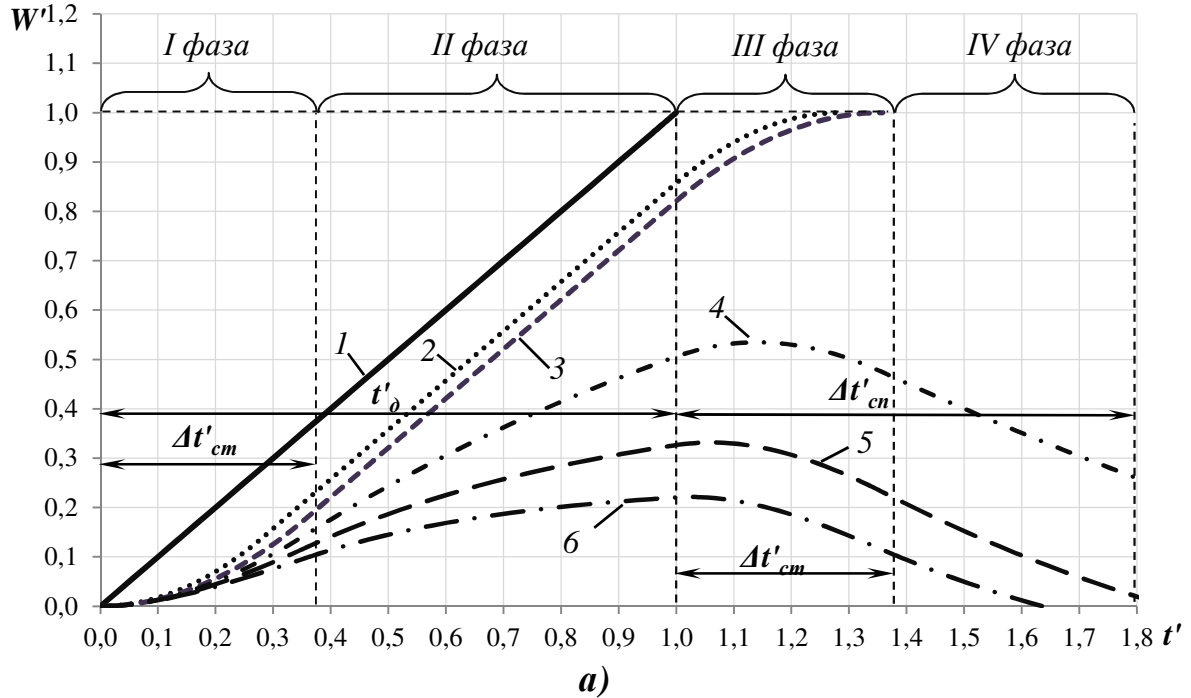


Рисунок 4 – Зміни відносних об'ємів  $W'$  (а) і дренажних витрат води  $Q'_{др}$  (б) на інфільтраційних майданчиках:

1 – випадіння дощових вод на територію стоку; 2 – притік води на майданчик за лінійною моделлю; 3 – те ж, за пересічною; 4 – відтік дренажних вод з майданчика для коефіцієнта еквівалентності  $k_e = 0,3$ ; 5 – те ж,  $k_e = 0,2$ ; 6 – те ж,  $k_e = 0,1$

Аналіз даних рисунку 4 показує, що найбільші об'єми дощових вод, затриманих на інфільтраційних майданчиках, та витрати дренажних вод (після майданчиків) припадають на III-ю фазу (притік води на майданчик після завершення дощу). Дослідження на екстремум відносних об'ємів та дренажних витрат, що припадають на III фазу, не дозволяють отримати у явному вигляді залежності для визначення  $W'_{\max}$ ,  $Q'_{\text{др.макс}}$  і часу від початку дощу  $t'_{\max}$ , на який вони припадають, тому розрахунки проведено числовими методами. Для отриманих таким чином значень  $t'_{\max}$ ,  $W'_{\max}$  і  $Q'_{\text{др.макс}}$  в діапазоні вхідних параметрів, що мають практичне значення, встановлено їх емпіричні залежності

$$W'_{\max} = e^{-0,43 \cdot \varepsilon \cdot t_{\text{д}}} \cdot (1 + \varepsilon \cdot t_{\text{д}})^{-\Delta t'_{\text{см}}}; \quad (17)$$

$$Q'_{\text{др.макс}} = 1 - e^{-\varepsilon \cdot t_{\text{д}}} \cdot (1 + e^{-\varepsilon \cdot t_{\text{д}}} \cdot \Delta t'_{\text{см}}) - \frac{\varepsilon \cdot t_{\text{д}}}{2} \cdot e^{-2 \cdot \varepsilon \cdot t_{\text{д}}} \cdot \Delta t'_{\text{см}}; \quad (18)$$

$$t'_{\max} = e^{0,3 \cdot e^{-\varepsilon \cdot t_{\text{д}}}}, \quad (19)$$

де  $\Delta t'_{\text{см}}$  – безрозмірна величина часу формування стабільного стоку, яку визначають за формулою

$$\Delta t'_{\text{см}} = \frac{\Delta t_{\text{см}}}{t_{\text{д}}}. \quad (20)$$

Висоту шару опадів за дощ, стік від якого надходить та акумулюється на інфільтраційному майданчику  $h_a$ , можна визначати таким чином

$$h_a = i_{\text{д}} \cdot t_{\text{д}} \cdot W'_{\max} = \frac{A}{t_{\text{д}}^n} \cdot t_{\text{д}} \cdot W'_{\max} = A \cdot t_{\text{д}}^{1-n} \cdot W'_{\max} = A \cdot k_h, \quad (21)$$

де  $k_h$  – коефіцієнт зміни шару опадів, що акумулюються на інфільтраційному майданчику;

$A$ ,  $n$  – параметри, які слід приймати за ДБН В.2.5–75:2013 залежно від географічного розташування населеного пункту.

Тоді формули для визначення розрахункових об'ємів (17) дренажних витрат (18) отримають вигляд

$$W_p = k_{\text{розм}} \cdot \psi_{\text{mid}} \cdot F_{\text{см}} \cdot A \cdot k_h; \quad (22)$$

$$Q_{\text{др.р}} = k_{\text{розм}} \cdot \psi_{\text{mid}} \cdot F_{\text{см}} \cdot A \cdot k_q, \quad (23)$$

де  $k_h$  і  $k_q$  – коефіцієнти, відповідно, зміни шару акумульованих опадів і дренажних витрат залежно від розрахункової тривалості дощу, які розраховують за отриманими формулами

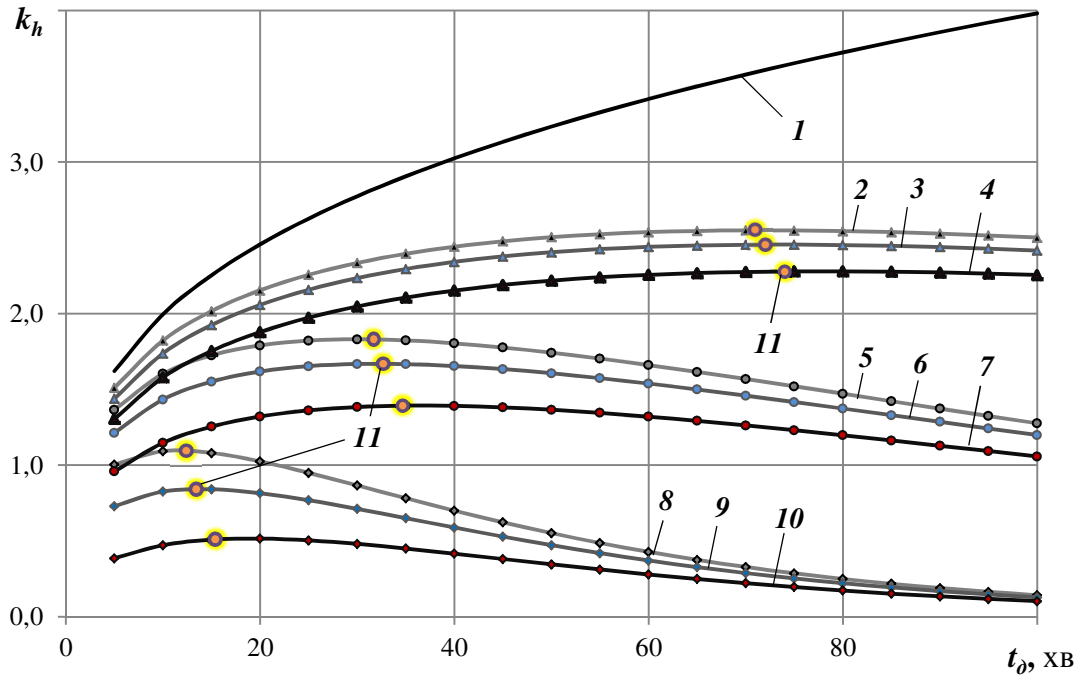
$$k_h = t_{\text{д}}^{1-n} \cdot e^{-(0,45+0,65 \cdot \frac{\Delta t_{\text{см}}}{t_{\text{д}}}) \cdot (\varepsilon \cdot t_{\text{д}})^{0,9}}; \quad (24)$$

$$k_q = t_{\text{д}}^{-n} \cdot (1 - e^{-1,1 \cdot (\varepsilon \cdot t_{\text{д}})^{0,9}}). \quad (25)$$

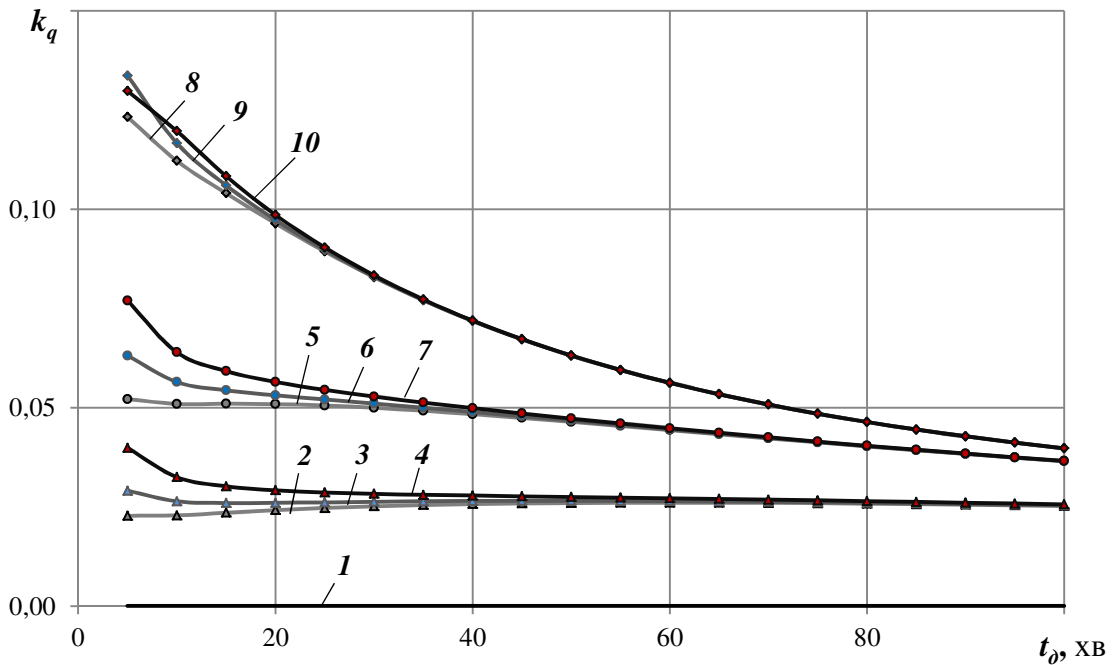
На рисунку 5 наведено приклад графіків залежностей  $k_h = f(t_{\text{д}})$  і  $k_q = f(t_{\text{д}})$  для  $\varepsilon = 0, 0,01, 0,025$  і  $0,075$  та  $\Delta t_{\text{см}} = 5, 10$  і  $20$  хв при значенні параметра  $n = 0,7$  в діапазоні його реальних величин –  $0,6 \dots 0,75$ .

Функція зміни параметру  $k_q = f(t_d)$  є спадною, а  $k_h = f(t_d)$  – має максимум. Математичний аналіз функції (24) показав, що максимум  $k_h$  відповідає тривалості дощу  $t_{d,p}$ , яку слід приймати за розрахункову

$$t_{d,p} = 3,7 \cdot \frac{1-n}{\varepsilon^{0,9}} + 0,2 \cdot \Delta t_{cm}. \quad (26)$$



а)



б)

Рисунок 5 – Приклад графіків залежностей  $k_h = f(t_d)$  (а) і  $k_q = f(t_d)$  (б):  
 1 – дані розрахунків за (23) і (24) для  $\varepsilon = 0$ ; 2, 3 і 4 – те ж, для  $\varepsilon = 0.01$  і  $\Delta t_{cm} = 5, 10$  і  $20$  хв;  
 5, 6 і 7 – те ж, для  $\varepsilon = 0.025$ ; 8, 9 і 10 – те ж, для  $\varepsilon = 0.075$ ; 11 – точки максимальних величин параметрів  $k_h$ , розрахованих за формулами (23) і (24)

Аналіз отриманих даних показує, що величини розрахункової тривалості дощу  $t_{d,p}$ , при яких спостерігається накопичення максимальних об'ємів затриманих дощових вод, знаходяться у межах 10...100 хв. Це повністю відповідає реальним тривалостям інтенсивних дощів на території України.

Площу, яку повинен займати інфільтраційний майданчик  $F_m$ , розраховують за формулою

$$F_m = \psi_{mid} \cdot F_{cm} \cdot \frac{i_d}{i_m}. \quad (27)$$

При відомих величинах об'ємів дощових вод  $W_p$ , м<sup>3</sup>, які повинні бути затримані на інфільтраційному майданчику, та його площі  $F_m$ , м<sup>2</sup>, висота шару фільтрувального завантаження, м, становитиме

$$H = \frac{W_p}{F_m \cdot p}. \quad (28)$$

За отриманими величинами дренажних витрат  $Q_{dr,p}$  розраховують дренажну систему, діаметри та ухили труб до споруд системи дощового водовідведення.

На основі отриманих результатів досліджень рекомендовано значення конструктивних параметрів інфільтраційних майданчиків для їх розрахунків, влаштування та експлуатації.

У **п'ятому розділі** наведено методику інженерного розрахунку регулювання витрат дощового стоку на інфільтраційних майданчиках. За розробленою методикою формування максимальних об'ємів дощових вод, затриманих у завантаженні майданчиків, розрахунком інфільтраційних майданчиків передбачено визначення їх конструктивних параметрів: площі майданчика  $F_m$  і його розмірів у плані; гранулометричного складу завантаження; висоти шарів завантаження; параметрів дренажної системи (діаметрів і довжин дрен, кількість і розміри отворів тощо). Процес формування максимальних об'ємів дощових вод, затриманих у завантаженні інфільтраційних майданчиків залежить від багатьох факторів (параметрів завантаження, інтенсивностей дощу та інфільтрації вод на майданчиках, умов відведення профільтрованих вод за межі майданчика тощо) і передбачає розрахунки таких похідних параметрів: розрахункового об'єму дощових вод, затриманих у завантаженні майданчика,  $W_p$ ; розрахункової дренажної витрати  $Q_{dr,p}$ ; розрахункової тривалості дощу  $t_{d,p}$ ; коефіцієнтів зміни шару акумульованих опадів  $k_h$  і дренажних витрат  $k_q$  залежно від розрахункової тривалості дощу; параметра завантаження інфільтраційного майданчика  $\varepsilon$ ; коефіцієнта стоку  $\psi_{mid}$ .

За розробленою методикою приведено приклад розрахунку параметрів інфільтраційного майданчика, доведено ефективність зменшення пікових навантажень при проектуванні нових та реконструкції існуючих систем дощового водовідведення за умови влаштування інфільтраційних майданчиків, а також їх економічну ефективність.

Результати роботи впроваджені при розробці національного стандарту ДСТУ–Н Б В.1.1–38:2016 «Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення», кафедральної тематики, а також як пропозиції до впровадження у проектах благоустрою міських територій проектною фірмою ТОВ «А-2», м. Рівне.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі вирішено важливе науково-практичне завдання з обґрунтування розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при підключенні їх до міських систем дощового водовідведення. Воно враховує обґрунтування математичної моделі наповнення-спорожнення та процесу формування дощового стоку, а також визначення об'ємів затриманих вод та дренажних витрат від розрахункової тривалості дощу при підключенні даних споруд до системи водовідведення.

1. Проблема регулювання дощового стоку на міських територіях внаслідок урбанізації, зміни клімату, стану зливової каналізації тощо, є надзвичайно актуальною. В сучасних господарчих умовах населених пунктів України важливим є тимчасове затримання максимальних об'ємів дощового стоку в місцях випадіння, зокрема, за допомогою фільтраційних методів.

2. Регулювання дощового стоку із застосуванням інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при їх комплексному використанні у міському господарстві дозволяє значно збільшити площу водопроникних територій, що суттєво знижує максимальні витрати дощових вод, які надходять у систему дощового водовідведення.

3. У чинних вітчизняних і закордонних нормативах відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо розрахунку, влаштування та експлуатації інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями із підключенням їх до міських систем водовідведення.

4. Отримано математичну модель процесів наповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями, адекватність якої підтверджено експериментальними дослідженнями на модельній установці фрагмента інфільтраційного майданчика із достатньо високим рівнем статистичного оцінювання за критерієм Стюдента для різних значень інтенсивності дощу.

5. Досліджено лінійну та пересічну математичну модель збору дощових стоків на інфільтраційні майданчики. Для пересічної моделі, яка найбільше поширена на міських територіях, отримана математична модель формування дощових стоків, що дозволила розраховувати гідрографи їх притоку до інфільтраційних майданчиків. Встановлено, що до початку стабільного притоку дощових вод на інфільтраційний майданчик з території водозбору надходять такі ж їх об'єми як і після закінчення дощу.

6. На основі зазначених математичних моделей отримано аналітичні залежності для визначення розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків при їх підключенні до споруд систем водовідведення, зокрема об'ємів дощових вод, затриманих у їх завантаженні, дренажних витрат інфільтраційних майданчиків, їх площ та висот шарів завантаження.

7. Обґрунтовано процес формування дощового стоку на інфільтраційних майданчиках в залежності від конструктивних характеристик завантаження майданчика та кліматичних параметрів випадання дощових вод, що дозволило визначити їх максимальні об'єми і відповідні їм розрахункові параметри майданчиків.



8. Розроблено методику інженерного розрахунку з визначення основних розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями і рекомендації щодо їх влаштування та експлуатації і, зокрема, регулювання об'ємів затриманих дощових вод та дренажних витрат при підключенні інфільтраційних майданчиків до систем водовідведення.

9. Реалізація отриманих результатів досліджень в пілотних проектах влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями підтвердила їх ефективність за рахунок зменшення навантажень на існуючі міські системи дощового водовідведення та комплексного використання територій майданчиків у господарчій діяльності.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Ткачук О. А. Оцінка причин затоплення каналізованих міських територій дощовими водами / О. А. Ткачук, В. Л. Сальчук, О. В. Олексіюк. *Вісник НУВГП. Технічні науки: зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2014. Вип. 1 (65). С. 344–350. (Особистий внесок: виконано аналіз причин затоплення міських територій внаслідок відсутності або неефективної роботи споруд затримання, регулювання та очищення дощових вод).

2. Шевчук О. В. Використання водопроникних покриттів для регулювання дощового стоку на забудованих міських територіях / О. В. Шевчук. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 1(69). С. 163–170.

3. Ткачук О. А. Ефективність застосування водопроникних покриттів для управління дощовими стоками на забудованих міських територіях / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : Optimum, 2015. Вип. 59. С. 235–242. (Особистий внесок: виконано аналіз ефективності влаштування водопроникних покриттів для регулювання дощового стоку).

4. Ткачук О. А. Дослідження роботи інфільтраційних майданчиків для систем дощового водовідведення / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 3 (71). С. 100–105. (Особистий внесок: отримано та проаналізовано експериментальні дані дослідження процесів наповнення та спорожнення на моделі інфільтраційного майданчика).

5. Ткачук О. А. Модель затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 4 (72). С. 485–497. (Особистий внесок: побудовано графіки зміни об'єму та витрати на інфільтраційному майданчику).

6. Ткачук О. А. Інфільтраційні майданчики як сучасний метод регулювання дощового стоку при благоустрої міських територій / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Науково-технічний збірник «Містобудування та територіальне планування»*. К. : КНУБА, 2016. Вип. 59. С. 437–442. (Особистий внесок: проаналізовано переваги влаштування інфільтраційних майданчиків для покращення благоустрою міських територій).

7. Ткачук О. А. Умови формування дренажних витрат, що надходять у систему дощового водовідведення після інфільтраційних майданчиків / О. А. Ткачук,

О. В. Шевчук. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 1(73). С. 148–156. (Особистий внесок: приведено граничні значення розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків, що впливають на значення дренажних витрат та затриманого дощового стоку).

8. Ткачук О. А. Розрахунок основних параметрів інфільтраційних майданчиків при підключенні їх до системи дощового водовідведення / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : Атлант, 2016. Вип. 63. С. 293–297. (Особистий внесок: встановлено залежності параметрів інфільтраційних майданчиків від способу відведення дренажних вод).

9. Ткачук О. А. Конструктивні особливості інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. *Наука та будівництво*. К. : НДІБК, 2016. Вип. 1. С. 38–41. (Особистий внесок: розроблено рекомендації щодо особливостей влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями).

10. ДСТУ– Н Б В.1.1–38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 204 с. (Особистий внесок: розроблено пункт 7.3.1.3 «Влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями»).

11. Шевчук О. В. Снижение пиковых нагрузок на систему дождевого водоотвода при устройстве инфильтрационных площадок / О. В. Шевчук. *Научные труды SWorld*. Иваново : Научный мир, 2016. Вып. 45. Том 9. С. 16–20.

12. Shevchuk O. V. Estimation of main analysis parameters of infiltration areas / O. V. Shevchuk, O. A. Tkachuk. *Proceedings of the IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference (11-14 May 2016, Gdańsk, Poland)*. Gdańsk, Poland, 2016. pp. 257–264. 1 електрон. опт. диск (CD-R). (Особистий внесок: обґрунтовано та визначено основні розрахункові параметри для розрахунку інфільтраційних майданчиків).

13. Ткачук О. А., Шевчук О. В. Математична модель регулювання витрат дощових вод на інфільтраційних майданчиках. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг : матеріали I між нар. наук.-практ. конф. (4-6 листопада 2015 р., м. Львів)*. Львів : ЗУКЦ. С. 133–135. (Особистий внесок: розроблено та виконано чисельний експеримент для перевірки моделі регулювання дощового стоку на інфільтраційних майданчиках).

14. Ткачук О. А. Шевчук О. В. Особливості розрахунків інфільтраційних майданчиків для відведення міського дощового стоку. *Тези за матеріалами VII Всеукраїнського наукового семінару «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур», 11-12 жовтня 2016 р. Харківський національний університет будівництва та архітектури*. Харків : ХНУБА. С. 74–75. (Особистий внесок: проаналізовано відомі методики розрахунку інфільтраційних майданчиків для відведення міського дощового стоку).

## АНОТАЦІЯ

**Шевчук О.В. Обґрунтування розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків у міських системах дощового водовідведення. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.04 – водопостачання, каналізація. – Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, 2017.

Дисертаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями при підключенні їх до міських систем водовідведення.

Розроблено математичну модель процесів наповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків. Для перевірки адекватності отриманої математичної моделі проведено експериментальні дослідження на модельній установці фрагмента інфільтраційного майданчика. Порівняння результатів експериментальних даних, отриманих на установці, та графіків теоретичних кривих за математичною моделлю заповнення та спорожнення інфільтраційних майданчиків, оцінювання за критерієм Стюдента засвідчило статистичну значимість досліджень.

Розглянуто процес формування дощового стоку на інфільтраційних майданчиках за лінійною та пересічною моделлю збору дощових вод для чотирьох фаз його формування. На його основі та математичної моделі процесів заповнення та спорожнення отримано теоретичні залежності для визначення розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків: об'єму затриманого дощового стоку, дренажної витрати від розрахункового часу дощу, площі та висоти шару завантаження.

Розроблено методику інженерного розрахунку з визначення основних розрахункових параметрів інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями і рекомендації щодо їх влаштування та експлуатації і, зокрема, регулювання об'ємів затриманих дощових вод та дренажних витрат при підключенні інфільтраційних майданчиків до систем дощового водовідведення.

Результати роботи впроваджені при розробці національного стандарту ДСТУ–Н Б В.1.1–38:2016 «Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення», наукової кафедральної тематики та знайшли практичне застосування у пропозиціях до проектів благоустрою міських територій проектною фірмою ТОВ «А-2», м. Рівне.

**Ключові слова:** регулювання дощового стоку, інфільтраційні майданчики, дощовий стік, водопроникні покриття.

## АННОТАЦИЯ

**Шевчук О.В. Обоснование расчетных параметров инфильтрационных площадок в городских системах дождевого водоотведения. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение, канализация. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, 2017.

Диссертация посвящена совершенствованию методов регулирования дождевого стока на городских территориях с использованием инфильтрационных площадок в системе дождевого водоотвода.

Разработана математическая модель процессов наполнения и опорожнения инфильтрационных площадок. Для проверки адекватности полученной математической модели, спроектировано и смонтировано физическую установку на модели инфильтрационной площадки. Сравнение результатов экспериментальных данных, полученных на установке, и графиков теоретических кривых математической модели изменения дренажных расходов дождевого стока во времени показало их полное совпадение, что свидетельствует о соответствии полученной математической модели.

Рассмотрен процесс формирования дождевого стока с линейной и переменной модели сбора дождевых вод для трех фаз его формирования. На его основе и математической модели процессов наполнения и опорожнения получено теоретические зависимости для определения расчетных параметров инфильтрационных площадок: объема задержанного дождевого стока, дренажных расходов от расчетного времени дождя, площади и высоты слоя загрузки.

Разработана методика инженерного расчета по определению основных расчетных параметров инфильтрационных площадок с водопроницаемыми покрытиями и рекомендации по их устройству и эксплуатации и, в частности, регулирования объемов задержанных дождевых вод и дренажных затрат при подключении инфильтрационных площадок к системам дождевого водоотвода.

Результаты работы внедрены при разработке национального стандарта ДСТУ–Н Б В.1.1–38:2016 «Руководство по инженерной защите территорий, зданий и сооружений от подтопления и затопления», кафедральной тематики и нашли практическое применение в предложениях к проектам благоустройства городских территорий проектной фирмы ООО «А-2», г. Ровно.

**Ключевые слова:** регулирование дождевого стока, инфильтрационные площадки, дождевой сток, водопроницаемые покрытия.

## ABSTRACT

**Shevchuk O.V. Estimation of calculating parameters of infiltration areas in urban sewer systems. – Manuscript.**

Dissertation for academic degree of candidate of technical sciences of specialty 05.23.04 – Water Supply and Water Disposal. – National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne, 2017.

The dissertation decides the important scientific and practical tasks of the study of design parameters of infiltration areas with permeable pavements by connecting them to the storm sewer system. It takes into account the research of the mathematical model of filling and emptying processes of stormwater formation and estimating of dependence of intercepted rainwater volumes and drainage discharges from time of precipitation when these facilities are connected to the sewer system.

The experimental part of the presented research includes testing of a fragment of infiltration area on the surface of which was imitated artificial “rainfall” with different intensity, estimates drainage water discharge. The results of experimental and theoretical studies were compared.

To verify the results obtained in the theoretical studies on the basis of physical modeling of infiltration areas with plastic paving grids the design parameters are determined, laboratory rig for experimental researches of filling and emptying model of infiltration area are designed and installed. The laboratory rig is represented actually a fragment of infiltration area.

The methods of execution of experimental studies, consistency of processing the experimental results and mathematical planning of 4-factor experiment to determine the basic output parameter – drainage discharge are represented. It was established that the main influential factor is the rainfall intensity, and the research of its impact on the character of the processes of filling and emptying of infiltration area was made on the experimental rig.

During the experiment rainfall were imitated on the surface with varying intensity. It was approved by nominal value of model rainfall intensities 2,0; 5,0 and 10,0 mm / min, and during the experiment these intensities were corresponded their research values: 2,3; 4,8 and 9,0 mm / min.

The dissertation estimates conditions of the process of filling and emptying infiltration areas using permeable pavements. The mathematical model of the processes of filling and emptying of infiltration areas with permeable pavements is determined. The differential equations of dependences of the depth of filling and emptying of infiltration areas' aggregate in time are received.

Analytical functions of changes of the filling depth of infiltration areas in time and drainage discharges during their filling and emptying are received. Comparison of experimental data obtained on the installation, and theoretical curves of mathematical model of change of rainwater drainage discharge over time, estimation by Student's t-test showed their complete coincidence, indicating that the mathematical model is adequacy.

The most common linear-type and dissected-type catchments of runoff schemes and their input on infiltration area are considered. The formulas to calculate the volume and discharges of runoff for each phase of their input on infiltration area are determined. It was established that for both linear-type and dissected-type catchments of runoff schemes to beginning of the stable inflow of stormwater the same volume are entered on infiltration catchment area from the territory as the end of the rainfall.

Based on laboratory and theoretical research the mathematical model of stormwater detention on infiltration areas with permeable pavements to collect rainfall for dissected-type catchments of model, the most common in urban areas, is received. Mathematical model allows drafting of runoff hydrographs, determining of the volume of detained stormwater and drainage discharges, which depend on the design parameters of infiltration areas by connecting them to the storm sewer system.

The method of engineering calculation to determine the main design parameters of infiltration areas with permeable pavements and recommendations of the installation for regulation runoff volumes and drainage discharges on infiltration areas by connecting them to the rain drainage system are determined.

The received results of infiltration areas' parameters showed an efficiency of its installation on this site with the providing of permissible loads on the existing of storm sewer system, and the absence of such area would imply its reconstruction (increase of the pipelines diameter) or additional pipeline.

The results were implemented in the preparing of National Standard DSTU–N B V.1.1–38:2016 "Guidelines of engineering protection of the territory, building and structure from water logging and flooding", in the research investigations of Department of Urban Development and Management of NUWEE, in the educational process of discipline "Engineering landscape of urban areas" and were applied in the proposals of urban areas landscape improvement for design projects of "A-2" firm, Rivne.

**Keywords:** stormwater management, infiltration areas, rainfall runoff, permeable pavements.

Підписано до друку 24.05.2017 р. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times.  
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 0,9.  
Тираж 100 прим. Зам. № 5302.

---

---

*Видавець і виготовлювач*  
*Редакційно-видавничий відділ Національного університету*  
*водного господарства та природокористування,*  
*33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру*  
*видавців, виготівників і розповсюджувачів*  
*видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*