

УДК 628.221

Ткачук О. А., д.т.н., професор, Шевчук О. В., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ ВИТРАТ, ЩО ПОСТУПАЮТЬ У СИСТЕМУ ДОЩОВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІСЛЯ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ МАЙДАНЧИКІВ

Визначено основні впливові фактори затримання дощових вод інфільтраційними майданчиками з водопроникними покриттями при підключенні їх до систем дощового водовідведення, що забезпечують ефективне регулювання дощового стоку на міських територіях. *Ключові слова:* регулювання дощового стоку, інфільтраційні майданчики, коефіцієнт стоку, дренажна витрата.

Регулювання дощового стоку є важливим завданням у вирішенні проблеми підтоплення і затоплення міських територій. Серед великої кількості цих методів важливого значення набувають ті, що дозволяють акумулювати дощові опади безпосередньо в місцях випадання, оскільки зменшують максимальні навантаження на існуючі системи водовідведення та затримують забруднення, не допускаючи підтоплення територій. Одним з таких методів є влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями для тимчасового затримання дощових вод і з наступним їх дренажуванням до споруд системи водовідведення [3; 4]. Використання сучасних водопроникних покриттів дозволяє значно збільшити площу майданчиків, а отже, і об'єми тимчасово затриманих дощових вод.

Питанням досліджень формування та регулювання стоку дощових вод міських територій присвячені роботи багатьох вітчизняних і закордонних вчених (Большаков В.О., Жук В.М., Константинов Ю.М., Корінько І.В., Пантелят Г.С., Ткачук С.Г., Абрамов Л.Т., Алексєєв М.І., Белов Н.Н., Горбачев П.Ф., Дикаревский В.С., Курганов А.М., Молоков М.В., Адамс Б., Джеймс В., Дзьопак Й., Майс Л., Россман Л., Хортон Р., Хубер В., Шулер Т., Фергюсон Б., та ін.).

Однак невирішеними залишаються питання визначення основних параметрів затримання дощових вод дренажними спорудами при підключенні їх до систем дощового водовідведення, зокрема для гідравлічного розрахунку інфільтраційних майданчиків.

Метою статті є визначення основних впливових факторів затримання дощових вод інфільтраційними майданчиками з водопроникними покриттями при підключенні їх до систем дощового водовідведення.

З математичної моделі затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках [4] впливає, що основними показниками їх гідравлічних навантажень є об'єми води, котрі накопичуються у пористому завантаженні, та витрати дренажних вод, які проходять через завантаження і поступають у трубопроводи чи канали системи дощового водовідведення.

Враховуючи, що за своїм функціональним призначенням інфільтраційні майданчики є спорудами для регулювання стоку дощових вод перед спорудами систем дощового водовідведення [2, п. 7.3], робочі об'єми їх акумулюючого простору можна визначати за формулою (1), а величини середніх коефіцієнтів стоку дощових вод ψ_{mid} за формулою (2).

$$W_{роб} = 10 \cdot h_a \cdot F_{cm} \cdot \psi_{mid}, \quad (1)$$

де h_a – максимальний шар опадів за дощ, стік від якого надходить в акумулюючу ємкість у повному об'ємі, мм;

F_{cm} – площа басейну стоку, га;

ψ_{mid} – середній коефіцієнт стоку дощових вод, який рекомендується визначати за формулою [2, п. 7.3.3; 7, ф. 19]:

$$\psi_{mid} = \frac{z_{mid} \cdot A^{0,2}}{t_r^{0,2n-0,1}}, \quad (2)$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта покрову, що залежить від видів покриттів окремих територій та їх частки в площі басейну стоку [2, п. А.7];

A, n – параметри, які слід визначати за результатами обробки багаторічних записів самописних дощомірів, зареєстрованих у конкретному населеному пункті або за [2, п. А.2].

t_r – розрахункова тривалість дощу, яку приймають рівною часу добігання поверхневих вод від найвіддаленішої точки басейну по поверхні, лотках і трубах до розрахункової ділянки, хв.

Значення коефіцієнта стоку ψ_{mid} залежно від величин впливових параметрів може змінюватись у широких межах ($\psi_{mid} = 0,1..1,0$). Однак, для водонепроникних покриттів (дахи будинків, асфальтовані вулиці, доріжки, під'їзні шляхи тощо), з яких, зазвичай, дощові води поступають на інфільтраційні майданчики, коефіцієнт стоку складає $\psi_{mid} = 0,8..1,0$. На рис. 1 для даних Рівненського регіону показано зміну коефіцієнта стоку ψ_{mid} залежно від розрахункової тривалості дощу t_r та періодів одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P .

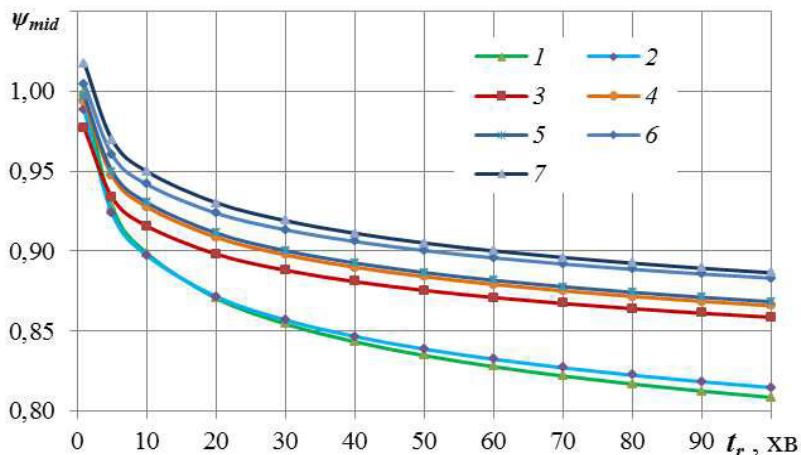


Рис. 1. Приклад зміни величин коефіцієнта стоку ψ_{mid} водонепроникних покриттів для періодів одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P :

1 – $P = 1$ рік; 2 – $P = 2$ роки; 3 – $P = 0,5$ року; 4 – $P = 10$ років;
5 – $P = 5$ років; 6 – $P = 0,33$ роки; 7 – $P = 20$ років

Очевидно, що для найбільш характерної розрахункової тривалості дощів понад $t_r > 20$ хв і заданого періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P в межах допустимої похибки $\pm 3,0\%$, що значно менше похибки розрахунків середньозваженої величини коефіцієнта покрову Z_{mid} [2, п. А.7], значення параметра ψ_{mid} може бути прийнято як постійна величина, розрахована за формулою (2) для прийнятого значення розрахункової тривалості дощу $t_r = 20 \dots 60$ хв.

Приймаючи $\psi_{mid} < 1,0$, на підставі математичної моделі затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках [4] формули для визначення величин розрахункових (максимальних) об'ємів, затриманих дощових вод, витрат дренажних вод та часу їх сформування від початку дощу мають вид

$$W_p = k_{розм} \cdot \psi_{mid} \cdot i_\delta \cdot F_{cm} \cdot t_\delta \cdot e^{-0,43 \cdot \varphi} \cdot (1 + \varphi)^{-\Delta t_{cm}}; \quad (3)$$

$$Q_{др.р} = k_{розм} \cdot \psi_{mid} \cdot i_\delta \cdot F_{cm} \left(1 - e^{-\varphi(1+e^{-\varphi} \cdot \Delta t_{cm})} - \frac{\varphi}{2} \cdot e^{-2 \cdot \varphi} \cdot \Delta t_{cm} \right); \quad (4)$$

$$t_p = t_\delta \cdot e^{0,3 \cdot e^{-\varphi}}, \quad (5)$$

де $k_{розм}$ – коефіцієнт розмірності;

i_δ – інтенсивність дощу, ($i_\delta \approx const$), мм/хв;

φ – безрозмірний параметр, що залежить від характеристик завантаження і тривалості дощу t_δ , хв, та визначається згідно [4] за формулою (7);

$\Delta t'_{cm}$ – відносний період спорожнення території стоку, визначається як

$$\Delta t'_{cm} = \frac{\Delta t_{cm}}{t_{\delta}}, \quad (6)$$

де Δt_{cm} – тривалість спорожнення території стоку, хв;

$$\varphi = \frac{k_e \cdot K_{\phi}}{p \cdot H} \cdot t_{\delta}, \quad (7)$$

де k_e – коефіцієнт еквівалентності, що характеризує умови дренажу води через завантаження інфільтраційного майданчика, частка одиниці;

K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації завантаження, мм/хв;

p – поруватість завантаження, частка одиниці;

H – сумарна висота завантаження, мм.

Величини коефіцієнтів $k_{розм}$ при інтенсивності дощу i_{δ} , мм/хв, площі стоку F_{cm} , га, і тривалості дощу t_{δ} , хв, становлять:

- для об'ємів W , м³, – $k_{розм.W} = 10$;
- для витрат Q , м³/хв, – $k_{розм.Q} = 10$; Q , л/с, – $k_{розм.Q} = 166,7$.

Значення коефіцієнтів еквівалентності k_e залежать від умов дренажу і відведення води з інфільтраційних майданчиків. Їх величини регулюються користувачами в межах $k_e = 0..k_{e.макс}$. Так, при відсутності відбору води з майданчика $k_e = 0$, а при регулюванні витрат води на відповідному трубопроводі до споруд системи дощового водовідведення – $k_e = 0..k_{e.макс}$. Експериментальним шляхом при проведенні дослідів на лабораторній установці [3] в умовах гравітаційної фільтрації отримано – $k_{e.макс} = 0,3$.

Порівняння отриманої формули (3) показує, що вона відповідає нормативній (1) для $k_{розм} = 10$ (об'єми W в м³) і, якщо шар опадів за дощ, стік від якого надходить та акумулюється на інфільтраційному майданчику, розраховувати за формулою

$$h_{\delta} = i_{\delta} \cdot t_{\delta} \cdot e^{-0,43 \cdot \varphi} \cdot (1 + \varphi)^{-\Delta t'_{cm}} = i_{\delta} \cdot t_{\delta} \cdot k_W. \quad (8)$$

Очевидно, що при $\varphi = 0$ (відсутність відбору води з майданчика, $k_e = 0$) – $h_{\delta} = i_{\delta} \cdot t_{\delta} = h_a$, а формули (1) та (3) є абсолютно ідентичними. При цьому, коефіцієнт k_W визначає частку затриманих дощових вод від їх загального об'єму, що поступає на інфільтраційний майданчик. Аналогічно у формулі (4) вираз у дужках відповідає коефіцієнту k_Q , що визначає частку витрат дощових вод, які проходять через інфільтраційний майданчик, від найбільшого значення витрат, що поступають на майданчик.

Величини коефіцієнтів k_W і k_Q є визначальними при обґрунтуванні гідравлічних навантажень на інфільтраційні майданчики. Їх

значення, особливо k_Q , залежать від умов прийому дренажних вод у систему дощового водовідведення, її пропускної спроможності, ризиків можливого затоплення чи підтоплення міських територій і задаються (чи розраховуються) до початку проектування інфільтраційних майданчиків. Тому важливе значення має визначення параметрів φ у формулах (3) і (4), а на їх основі k_e та інших параметрів (формула (7)) для влаштування інфільтраційних майданчиків.

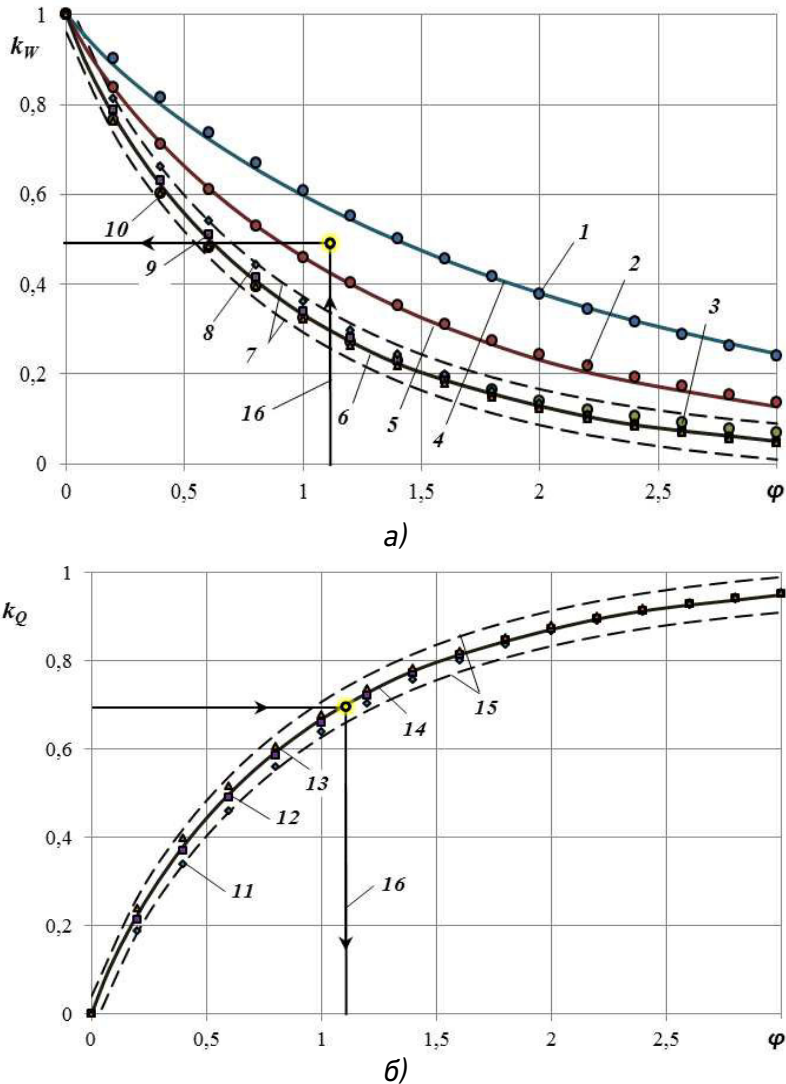


Рис. 2. Графіки залежностей $k_W = f(\varphi, \Delta t'_{cm})$ (а) і $k_Q = f(\varphi, \Delta t'_{cm})$ (б)
1, 2, 3 – дані розрахунків за (8) для $\Delta t'_{cm} = 0.1; 0.5; 1.0$; 4, 5, 6 – те ж, за (9);
7, 15 – лінії 4% довірчих інтервалів; 8, 9, 10 – дані розрахунків за (11);
11, 12, 13 – дані розрахунків за (4) для $\Delta t'_{cm} = 0.1; 0.5; 1.0$; 14 – те ж, за формулою (10); 16 – ключ до визначення пошукових параметрів

На основі формул (3) і (4) шляхом числового комп'ютерного моделювання залежностей k_w і $k_Q = f(\varphi, \Delta t'_{cm})$ для $\varphi = 0.1..3.0$ з кроком 0.2 і $\Delta t'_{cr} = 0.1; 0.5; 1.0$, що охоплює практично всі відомі діапазони вхідних параметрів (рис. 2), отримано емпіричні залежності з визначення параметра φ

$$\varphi = \left(\frac{-\ln(k_w)}{0.45 + 0.65 \cdot \Delta t'_{co}} \right)^{1.1}, \quad (9)$$

$$\varphi = 0.9 \cdot (-\ln(1 - k_Q))^{1.1}. \quad (10)$$

Дані рис. 2 показують хорошу збіжність результатів обчислень за «точними формулами» (3) і (4) та отриманими спрощеними емпіричними залежностями (9) і (10). При цьому характерним є те, що для $\Delta t'_{cm} = 1.0$ значення параметрів W'_{max} і $Q'_{op,max}$ знаходяться у залежності

$$k_w = 1 - k_Q. \quad (11)$$

Розбіжність цих даних (на рис. 2, а точки 8, 9, 10 та 11, 12, 13 – на рис. 2, б) не перевищує 4% довірчих інтервалів, як для k_w , так і для k_Q (лінії 7 і 15 рис. 2, а і б).

Отже, відносна дренажна витрата k_Q практично не залежить від відносного часу добігання дощових вод до інфільтраційного майданчика $\Delta t'_{cm}$, а тільки від параметра φ і навпаки $\varphi = f(k_Q)$. Тому для практичних розрахунків, задавшись значенням параметра k_Q за формулою (10) або рис. 2, б, знаходять величину параметра φ і вже потім, при відомих величинах $\Delta t'_{cm}$ і φ , за формулою (3) або рис. 2, а, визначають k_w .

Таким чином, основними впливовими факторами затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках з водопроникними покриттями при підключенні їх до систем дощового водовідведення є такі:

- параметри дощів в даній місцевості (середня інтенсивність дощу i_δ та його тривалість t_δ);
- параметри інфільтраційних майданчиків (площа, тип і висота завантаження, конструкція і розміри дренажу тощо);
- умови регулювання дренажних витрат води та підключення до системи дощового водовідведення.

Параметри дощів в даній місцевості (середня інтенсивність дощу i_δ , мм/хв, та його тривалість t_δ , хв) знаходяться у залежності [1; 2]

$$i_\delta = 0,006 \cdot \frac{A}{t_\delta^n}, \quad (12)$$

де 0,006 – перевідний коефіцієнт інтенсивностей дощу з л/с/га в мм/хв;

A і n – параметри, що і в формулі (2).

Розрахункову тривалість дощу t_d необхідно приймати за даними гідрометеорологічних спостережень в конкретному населеному пункті, яка, як правило, становить $t_d = 20..40$ хв.

Параметри інфільтраційних майданчиків залежать від конструкції та характеристик завантаження. Конструкція інфільтраційних майданчиків складається з модуля газонної решітки (заповнення у вигляді суміші просіяного ґрунту (60%), піску (30%) крупністю 0,1-2 мм та компосту (10%) або виконати заповнення щебенем крупністю 2-16 мм), підготовчого шару з піску (крупність 2-5 мм), основного шару зі щебеню (крупність 2-32 мм), а також шарів геотекстилю [3]. Характеристики завантаження кожного з цих шарів, такі як зерновий склад, пористість, ступінь ущільнення повинні забезпечувати необхідну водопроникність та швидкість інфільтрації. Крім того, основний шар повинен забезпечувати несучу здатність конструкції такого покриття відповідно до можливого навантаження. Ступінь ущільнення кожного із шарів повинен бути в межах 93-95%. Пористість кожного з шарів завантаження 20-40%. Оптимальне значення пористості – 30%. Для затримання додаткового об'єму опадів можна також влаштувати акумулюючий шар зі щебеню крупністю 8-40 мм. У таблиці наведено рекомендовані значення параметрів, що використовуються при влаштуванні та розрахунку інфільтраційних майданчиків.

Таблиця

Значення параметрів інфільтраційних майданчиків

№	Найменування параметра	Позначення	Од. вим.	Значення	
				min	max
1	Коефіцієнт фільтрації	K_f	м/с	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-5}$
2	Пористість	p	%	20	40
3	Ухил	I	%	0,5	2
4	Висота завантаження	H	м	0,25	2,4
5	Коефіцієнт еквівалентності (регулювання витрат води)	k_e		0	0,3
6	Відношення площі майданчика до площі стоку	$F_m/F_{ст}$		1:1	1:10
7	Інтенсивність дренажу дощу на майданчику	i_m	мм/хв	-	10
8	Коефіцієнт стоку для водонепроникних ділянок	ψ_{mid}		0,8	1,0

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

$$F_m = \psi_{mid} \cdot F_{cm} \cdot \frac{i_d}{i_m}, \quad (13)$$

де i_m – інтенсивність дренажу дощових вод на майданчику, яка не повинна перевищувати $i_{m,макс}$ (для завантаження основного шару щебенем 10..40 мм [3] – $i_{m,макс} = 10$ мм/хв).

При відомих величинах об'ємів дощових вод W_p , м³, які повинні бути затримані на інфільтраційному майданчику, та його площі F_m , м², висота шару фільтрувального завантаження, м, становитиме

$$H = \frac{W_p}{F_m \cdot p}. \quad (14)$$

За отриманими величинами дренажних витрат $Q_{др,p}$ розраховують дренажну систему [5], діаметри та ухили труб [2], по яких ці витрати відводять у систему дощового водовідведення.

Висновки. На основі математичної моделі затримання дощових вод інфільтраційними майданчиками з водопроникними покриттями [4] отримано залежності для визначення об'ємів затриманих на інфільтраційних майданчиків дощових вод та їх дренажних витрат при підключенні до систем дощового водовідведення.

1. Алексеев М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий : учеб. пособие / Алексеев М. И., Курганов А. М. – М. : Изд-во АСВ; СПб. : СПбГАСУ, 2000. – 352 с.
2. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
3. 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.
4. 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).
5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпускаемого в водные объекты. – М. : ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006. – 60 с.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)

**Tkachuk O. A., Doctor of Engineering, Professor, Shevchuk O. V.,
Post-graduate Student** (National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne)

FORMING CONDITIONS OF DRAINAGE DISCHARGE THAT ENTER TO THE RAIN DRAINAGE SYSTEM AFTER INFILTRATION AREAS

The main influential factors of stormwater interception on infiltration area with permeable pavements by connecting them to the rain drainage systems are determined. The using of infiltration areas provides effective stormwater management on urban areas.

***Keywords:* stormwater management, infiltration areas, the run off coefficient, drainage discharge.**

Ткачук А. А., д.т.н., профессор, Шевчук А. В., аспирант
(Национальный университет водного хозяйства и
природопользования, г. Ровно)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕНАЖНЫХ РАСХОДОВ, КОТОРЫЕ ПОСТУПАЮТ В СИСТЕМУ ДОЖДЕВОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ ПОСЛЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПЛОЩАДОК

Определены основные влияющие факторы задержания дождевых вод инфильтрационными площадками с водопроницаемыми покрытиями при подключении их к системам дождевого водоотведения, которые обеспечивают эффективное регулирование дождевого стока на городских территориях.

***Ключевые слова:* регулирование дождевого стока, инфильтрационные площадки, коэффициент стока, дренажный расход.**
