

УДК 628.221

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

## **МОДЕЛЬ ЗАТРИМАННЯ ДОЩОВИХ ВОД НА ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ МАЙДАНЧИКАХ**

**На основі лабораторних і теоретичних досліджень отримано математичну модель затримання дощових вод інфільтраційними майданчиками з водопроникними покриттями, що забезпечують ефективне регулювання дощового стоку на міських територіях, при підключенні їх до систем дощового водовідведення.**

**Ключові слова:** регулювання дощового стоку, інфільтраційні майданчики, водопроникні покриття, лінійна та пересічна модель.

Регулювання дощового стоку є важливим завданням у вирішенні проблеми підтоплення і затоплення міських територій. Серед великої кількості цих методів сьогодні важливого значення набувають ті, що дозволяють акумулювати дощові опади безпосередньо в місцях випадання, оскільки найбільше сприяють підтриманню водного балансу, не допускаючи підтоплення територій, зменшують максимальні навантаження на існуючі системи водовідведення та затримують забруднення. Одним з таких методів є влаштування інфільтраційних майданчиків з водопроникними покриттями і з тимчасовим затриманням на них дощових вод і наступним їх дренажуванням у трубопроводи системи водовідведення. Використання різноманітних видів водопроникних покриттів дозволяє значно збільшити площу водопроникних територій, а значить, 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., Бошота В.В., Константинов Ю.М., Корінко І.В., Пантелят Г.С., Ткачук С.Г., Абрамов Л.Т., Алексеєв М.І., Белов Н.Н., Горбачев П.Ф., Дикаревский В.С., Курганов А.М., Молоков М.В., Адамс Б., Джеймс В., Дзьopak Й., Майс Л., Росман Л., Хортон Р., Хубер В., Шулер Т., Фергюсон Б. та ін.) [2; 3; 5].

**Однак не вирішеними** залишаються питання аналізу можливих схем збору, затримання та поступлення дощових вод із інфільтрацій-

них майданчиків в систему дощового водовідведення. Важливе значення має кінетика процесу накопичення і зменшення об'ємів дощових вод в пористому просторі майданчика залежно від його конструктивних параметрів.

**Метою статті** є аналіз моделей затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках з водопроникними покриттями та визначення розрахункових значень об'єму затриманого дощового стоку та дренажних витрат води, що поступають у трубопроводи системи водовідведення.

**Збір дощових вод** з міських територій на інфільтраційні майданчики може здійснюватися за лінійною, радіальною [3] або пересічною схемами (моделями).

Найбільш типовою і поширеною на міських територіях є пересічна модель, в якій інфільтраційний майданчик розташований в низовій частині території стоку, а вода стікає по поверхні стоку і лотках. Як і в лінійній моделі дощові води рівномірно стікають з території до її низової сторони, де розташований лоток, по якому води поступають на майданчик (рис. 1).

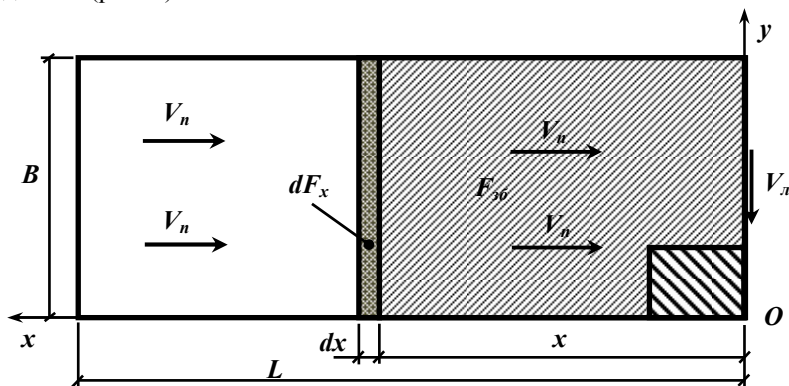


Рис. 1. Схема збору дощових вод за пересічною моделлю

Для побудови моделі затримання дощових вод на інфільтраційних майданчиках розглянуто територію стоку, включаючи і сам майданчик, що має довжину  $L$  і ширину  $B$  з ухилом до лотка, розташованого з його низової сторони (по ординаті  $y$ ). На всю територію, що входить у площу стоку дощових вод, включаючи і сам майданчик, випадає дощ постійної в часі інтенсивності ( $i_0 = \text{const}$ ). Швидкість руху дощових вод по території стоку (поверхневої концентрації) прийнято постійною, рівною її середньому значенню,  $V_n = \text{const}$  [1; 2], і попередньо коефіцієнт стоку [2, п. 7.3.3]  $\psi_{mid} = 1,0$ .

**В I фазі дощу** (концентрації стоку) в момент часу  $t$  від початку дощу в контрольній точці  $O$  висота шару опадів з площі збору води  $F_{зб}$ , буде змінюватись за залежністю

$$h = k \cdot t, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від інтенсивності дощу  $i_\delta$ , тривалості пробігання води по території збору  $\Delta t_m$  і лотку  $\Delta t_n$ , сума яких дорівнює  $t_n$  – тривалості поступлення води з найвіддаленішої точки території до контрольної точки  $O$  майданчика.

Приріст об'єму дощових вод, що поступають в контрольну точку майданчика за час  $t$ , складе

$$dW = h \cdot dF_x = k \cdot t \cdot B \cdot V_n \cdot dt. \quad (2)$$

Після інтегрування цього диференційного рівняння отримано:

$$W = k \cdot B \cdot V_n \cdot t^2 / 2, \quad (3)$$

де коефіцієнт пропорційності  $k$  рівний

$$k = \frac{i_\delta \cdot L}{V_n \cdot t_n} = \frac{i_\delta \cdot \Delta t_m}{\Delta t_m + \Delta t_n}. \quad (4)$$

Таким чином зміни об'ємів і витрат води для I фази збору дощових вод становитимуть

$$W = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L}{2 \cdot (\Delta t_m + \Delta t_n)} \cdot t^2, \quad (5)$$

$$Q = \frac{dW}{dt} = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L}{\Delta t_m + \Delta t_n} \cdot t. \quad (6)$$

**В II фазі** (стабільного стоку) на інфільтраційний майданчик буде поступати вода із всієї території стоку  $F_{см}$ . В результаті аналогічного підходу, як і для лінійної моделі, отримаємо:

$$W = W_n + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot (t - t_n), \quad (7)$$

$$Q = i_\delta \cdot B \cdot L = Q_n, \quad (8)$$

де  $W_n$  – об'єм вод, що поступить на майданчик на час початку стабільного стоку, який слід визначати за формулою (3) при  $t=t_n$ .

На час закінчення дощу об'єм води, що поступить на майданчик, становитиме

$$W_\delta = W_n + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot (t_\delta - t_n) = i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t_\delta - W_n. \quad (9)$$

**Для III фази** (після завершення дощу) приріст об'єму води буде визначатись залежно від зміни в часі площі збору води  $F_{зб}$  і висоти шару опадів  $h_x$ , що поступають у точку  $O$  майданчика (рис. 1). При цьому приріст об'єму дощових вод за час  $t$  складе:

$$dW = h \cdot dF_x = k \cdot t \cdot B \cdot V_n \cdot dt. \quad (10)$$

Після інтегрування цього диференційного рівняння з урахуванням формул (3), (4) і (9), а також приймаючи, що тривалість повного спорожнення території стоку рівна  $t - t_\delta = \Delta t_{cm} = \Delta t_m + \Delta t_n$ , отримано:

$$W = W_\delta + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot \left( (t - t_\delta) - \frac{(t - t_\delta)^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right); \quad (11)$$

$$Q = i_\delta \cdot B \cdot L \cdot \left( 1 - \frac{t - t_\delta}{\Delta t_{cm}} \right), \quad (12)$$

де  $t_\delta$  – час закінчення дощу.

Загальний об'єм дощових вод, що поступають на інфільтраційний майданчик, за період повного спорожнення території стоку, тобто при  $t - t_\delta = \Delta t_{cm}$  в формулі (11) з врахуванням формул (3) і (9) буде рівним

$$W_{заг} = W_\delta + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot \frac{\Delta t_{cm}}{2} = i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t_\delta = i_\delta \cdot F_{cm} \cdot t_\delta. \quad (13)$$

У безрозмірних величинах зазначені об'єми і витрати дощових вод для кожної фази будуть мати вигляд:

- для I фази:

$$W' = \frac{W}{W_{заг}} = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t^2}{2 \cdot \Delta t_{cm} \cdot i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t_\delta} = \frac{t_\delta}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \cdot (t')^2, \quad (14)$$

$$Q' = \frac{Q}{Q_n} = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t}{\Delta t_{cm} \cdot i_\delta \cdot L \cdot B} = \frac{t}{\Delta t_{cm}} = \frac{t_\delta}{\Delta t_{cm}} \cdot t'. \quad (15)$$

- для II фази

$$W' = \frac{W}{W_{заг}} = \frac{W_n + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot (t - t_n)}{W_{заг}} = \dots = t' - \frac{\Delta t_{cm}}{2 \cdot t_\delta}, \quad (16)$$

$$Q' = \frac{Q}{Q_n} = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L}{i_\delta \cdot B \cdot L} = 1,0. \quad (17)$$

- для III фази

$$W' = \frac{W}{W_{\text{заг}}} = \frac{W_\delta + i_\delta \cdot B \cdot L \cdot \left( t - t_\delta - \frac{(t - t_\delta)^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right)}{i_\delta \cdot B \cdot L \cdot t_\delta} = \dots \quad (18)$$

$$\dots = t' - \frac{\Delta t_{cm}}{2 \cdot t_\delta} - \frac{t_\delta \cdot (t' - 1)^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}},$$

$$Q' = \frac{Q}{Q_n} = \frac{i_\delta \cdot B \cdot L \cdot \left( 1 - \frac{t - t_\delta}{\Delta t_{cm}} \right)}{i_\delta \cdot B \cdot L} = 1 - \frac{t_\delta \cdot (t' - 1)}{\Delta t_{cm}}. \quad (19)$$

Отримані залежності  $W' = f(t')$  – нанесено на рис. 2, а, а  $Q' = f(t')$  – на рис. 2, б. Характерно, що відповідні залежності для лінійної та пересічної моделей збору дощових вод ідентичні. Тому для подальшого аналізу прийнято пересічну модель, як більш універсальну і таку, що має більше поширення на практиці.

Таким чином, витрати притоку дощових вод до інфільтраційних майданчиків  $Q_{np}$  слід визначати за формулами (6), (8) і (12), а для витрати, що відводяться із майданчиків через дренажі  $Q_{op}$  – на основі раніше проведених досліджень [5], за формулами:

$$Q_{op} = k_{розм} \cdot i_m \cdot F_m \cdot (1 - e^{-\varepsilon t}), \quad (20)$$

$$Q_{op} = Q_0 (1 - b \cdot (t - t_\delta)), \quad (21)$$

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

$i_m$  – інтенсивність поступлення дощових вод на майданчик;

$F_m$  – площа покриття в плані;

$Q_0$  – початкова витрата води в момент часу  $t_\delta$  (закінчення дощу);

$b$  – параметр, що залежить від умов спорожнення, 1/хв. [5];

$\varepsilon$  – показник степені, що розраховують як

$$\varepsilon = \frac{k_e \cdot K_\phi}{p \cdot H} = 2 \cdot b, \quad (22)$$

де  $k_e$  – коефіцієнт еквівалентності, що враховує частку втрат напору

від висоти води у завантаженні, і який визначає степінь регулювання затриманих у завантаженні дощових вод;

$K_\phi$  – коефіцієнт фільтрації завантаження;

$p$  – пористість завантаження;

$H$  – сумарна висота завантаження.

При цьому приріст об'єму води, що накопичується у завантаженні майданчика, слід розраховувати за формулами [5]

$$dW = Q_n \cdot dt, \quad (23)$$

$$Q_n = Q_{np} - Q_{dp} \quad (24)$$

де  $Q_n$ ,  $Q_{np}$  і  $Q_{dp}$  – витрати накопичення, притоку і дренажу води на інфільтраційному майданчику.

**В I фазі дощу** (концентрації стоку) приріст об'єму води, що накопичується у завантаженні, приймаючи  $k_{розм} = 1,0$  (при однаковій розмірності вихідних і розрахункових параметрів), буде рівним

$$dW = (Q_{np} - Q_{dp}) \cdot dt = \left( i_\delta \cdot F_{cm} \cdot \frac{t}{\Delta t_{cm}} - i_m \cdot F_m \cdot (1 - e^{-\varepsilon \cdot t}) \right) \cdot dt, \quad (25)$$

де  $F_{cm}$  і  $F_m$  – площі території стоку дощових вод і майданчика;

$i_\delta$  і  $i_m$  – середні значення інтенсивності дощу і поступлення дощових вод на поверхню майданчика.

Враховуючи, що витрати притоку дощових вод  $Q_{np}$ , дорівнюють витратам, що поступають з території збору  $Q$  має місце тотожність

$$i_m \cdot F_m = i_\delta \cdot F_{cm} \cdot t / \Delta t_{cm}. \quad (26)$$

В результаті отримано:

$$Q_{dp} = Q_{np} - Q_n = i_\delta \cdot F_{cm} \cdot \frac{t}{\Delta t_{cm}} - \frac{i_\delta \cdot F_{cm}}{\Delta t_{cm}} \cdot t \cdot e^{-\varepsilon \cdot t} = i_\delta \cdot F_{cm} \cdot t \cdot (1 - e^{-\varepsilon \cdot t}) / \Delta t_{cm}. \quad (27)$$

$$W = \frac{i_\delta \cdot F_{cm}}{\Delta t_{cm} \cdot \varepsilon^2} \cdot (1 - (1 + \varepsilon \cdot t) \cdot e^{-\varepsilon \cdot t}); \quad (28)$$

$$Q_n = \frac{dW}{dt} = \frac{i_\delta \cdot F_{cm}}{\Delta t_{cm}} \cdot t \cdot e^{-\varepsilon \cdot t}; \quad (29)$$

**В II фазі** (стабільного стоку) приріст об'єму води у завантаженні майданчика із врахуванням, що  $i_m \cdot F_m = i_\delta \cdot F_{cm}$ , становитиме

$$dW = (i_{\delta} \cdot F_{cm} - i_m \cdot F_m \cdot (1 - e^{-\varepsilon t})). dt, \quad (30)$$

$$W = W_1 + \frac{i_{\delta} \cdot F_{cm}}{\varepsilon} \cdot (e^{-\varepsilon t_n} - e^{-\varepsilon t}), \quad (31)$$

де  $W_1$  – об'єм дощових вод затриманих на майданчику за I фазу;  
 $t_n$  – тривалість I фази поступлення води на майданчик.

$$W_1 = \frac{i_{\delta} \cdot F_{cm}}{\Delta t_{cm} \cdot \varepsilon^2} \cdot (1 - (1 + \varepsilon \cdot t_n) \cdot e^{-\varepsilon t_n}), \quad (32)$$

$$Q_{op} = i_{\delta} \cdot F_{cm} \cdot (1 - e^{-\varepsilon t}), \quad (33)$$

**В III фазі** (притік води на майданчик після завершення дощу) значення витрат притоку  $Q_{np}$  розраховано за формулою (12), а дренажних вод  $Q_{dp}$  – на основі додаткового аналізу формул (22) ÷ (23) [5], в результаті якого, з врахуванням, що  $i_m \cdot F_m = i_{\delta} \cdot F_{cm}$ , отримано диференціальне рівняння (при  $k_{розм} = 1,0$ )

$$dh = \frac{1}{p} \cdot \left( i_m \cdot \left( 1 - \frac{t - t_{\delta}}{\Delta t_{cm}} \right) - \frac{k_e \cdot K_{\phi}}{H} \cdot \frac{H \cdot i_m}{k_e \cdot K_{\phi}} \cdot (1 - e^{-\varepsilon t}) \right) \cdot dt. \quad (34)$$

Його розв'язок визначає зміну висоти шару води у завантаженні

$$h = \frac{i_m}{\varepsilon \cdot p} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon t} - \varepsilon \cdot \frac{(t - t_{\delta})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right). \quad (35)$$

На основі (20), (22) і (35) отримано:

$$Q_{dp} = i_m \cdot F_m \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon t} - \varepsilon \cdot \frac{(t - t_{\delta})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right). \quad (36)$$

$$W = W_2 + i_{\delta} \cdot F_{cm} \cdot \left( -\frac{1}{\varepsilon} \cdot (e^{-\varepsilon t} - e^{-\varepsilon t_{\delta}}) - \frac{(t - t_{\delta})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} + \frac{\varepsilon \cdot (t - t_{\delta})^3}{6 \cdot \Delta t_{cm}} \right), \quad (37)$$

$$Q_{op} = i_{\delta} \cdot F_{cm} \cdot \left( 1 - e^{-\varepsilon t} - \frac{\varepsilon \cdot (t - t_{\delta})^2}{2 \cdot \Delta t_{cm}} \right). \quad (38)$$

**IV фаза** триває від закінчення притоку води на майданчик ( $t_3 = t_{\delta} + \Delta t_{cm}$ ) до повного його спорожнення. В цій фазі має місце тільки відтік води із майданчика з витратою за формулою (21) при  $Q_o$  за (38),

$b$  за (22),  $t = t_3 = t_0 + \Delta t_{cm}$ , а зміну об'єму і  $Q_{dp}$  за формулами:

$$W = W_3 - i_\delta \cdot F_{cm} \cdot \left(1 - e^{-\varepsilon \cdot t_3} - \varepsilon \cdot \Delta t_{cm} / 2\right) \times \left(t - t_0 - \Delta t_{cm} - \varepsilon \cdot (t - t_3)^2 / 4\right); \quad (39)$$

$$Q_{dp} = i_\delta \cdot F_{cm} \cdot \left(1 - e^{-\varepsilon \cdot t_3} - \varepsilon \cdot \Delta t_{cm} / 2\right) \cdot \left(1 - \varepsilon \cdot (t - t_3) / 2\right). \quad (40)$$

Відносні об'єми дошових вод, що накопичуються на майданчиках  $W'$ , і витрати дренажних вод, що відводяться із майданчиків  $Q'_{dp}$  будуть рівними:

- в I фазі дощу (концентрації стоку)

$$W' = \left(1 - \left(1 + \psi \cdot t'\right) \cdot e^{-\psi \cdot t'} / \Delta t'_{cm} \cdot \psi^2\right); \quad (41)$$

$$Q'_{dp} = t' \cdot \left(1 - e^{-\psi \cdot t'}\right) / \Delta t'_{cm}; \quad (42)$$

- в II фазі (стабільного стоку)

$$W' = W'_1 + \left(e^{-\psi \cdot t'_n} - e^{-\psi \cdot t'}\right) / \psi; \quad (43)$$

$$Q'_{dp} = 1 - e^{-\psi \cdot t'}; \quad (44)$$

- в III фазі (притік води на майданчик після завершення дощу)

$$W' = W'_2 - \frac{1}{\psi} \cdot \left(e^{-\psi \cdot t'} - e^{-\psi}\right) - \frac{(t' - 1)^2}{2 \cdot \Delta t'_{cm}} + \frac{\psi^2 \cdot (t' - 1)^3}{6 \cdot \Delta t'_{cm}}; \quad (45)$$

$$Q'_{dp} = 1 - e^{-\psi \cdot t'} - \psi^2 \cdot (t' - 1)^2 / (2 \cdot \Delta t'_{cm}); \quad (46)$$

- в IV фазі (спорожнення майданчика)

$$W' = W'_3 - \left(1 - e^{-\psi \cdot t'_3} - \psi \cdot \Delta t'_{cm} / 2\right) \times \left(t' - 1 - \Delta t'_{cm} - \psi \cdot (t' - 1 - \Delta t'_{cm})^2 / 4\right); \quad (47)$$



$$Q'_{др} = \left(1 - e^{-\psi \cdot t'_3} - \psi \cdot \Delta t'_{cm} / 2\right) \cdot \left(1 - \psi \cdot (t' - 1 - \Delta t'_{cm}) / 2\right). \quad (48)$$

У формулах (41)–(48) параметри  $\psi$ ,  $\Delta t'_m$ ,  $\Delta t'_3$  і  $\Delta t'_{cm}$  – безрозмірні. Їх визначають за формулами

$$\psi = \varepsilon \cdot t_\delta = k_e \cdot K_\phi \cdot t_\delta / (p \cdot H), \quad (49)$$

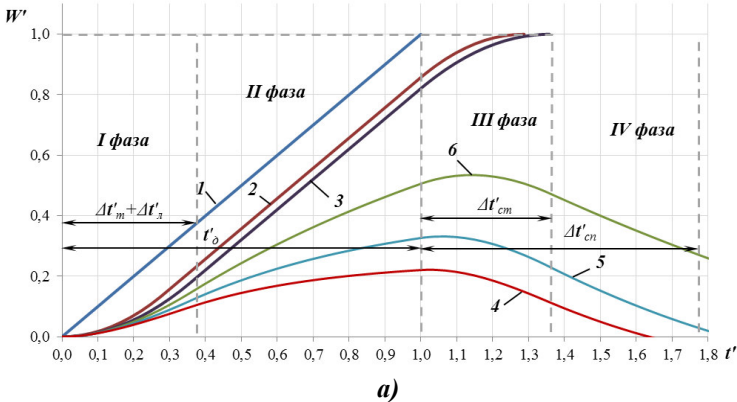
$$\Delta t'_n = \Delta t_n / t_\delta; \quad \Delta t'_3 = \Delta t_3 / t_\delta; \quad \Delta t'_{cm} = \Delta t_{cm} / t_\delta. \quad (50)$$

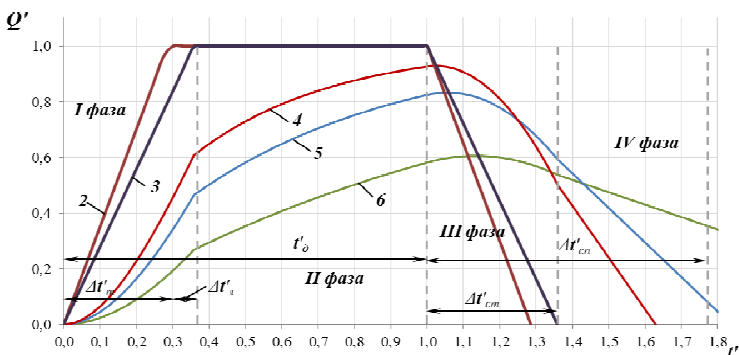
Зміни відносних об'ємів  $W'$  і витрат води  $Q'_{др}$  для умов збору води і параметрів інфільтраційного майданчика, наведених в табл. 1, нанесено на рис. 2, а і 2, б. При цьому коефіцієнт еквівалентності  $k_e$ , що характеризує умови відтоку дренажних вод із майданчика, прийнято рівними  $k_e = 0.1; 0.2$  і  $0.3$  та відповідні їм значення параметрів  $\varepsilon$  і  $b$  у формулах (22), (25)–(48) –  $\varepsilon = 0.24 \cdot k_e$  і  $b = 0.12 \cdot k_e$ , а також величин параметра  $\psi = 0,87; 1,74$  і  $2,61$  та тривалості спорожнення  $\Delta t_{cm} = 56; 32$  і  $24$  хв, рівному відносному часу від початку дощу  $t' = 2.55; 1.85$  і  $1.63$ .

Таблиця 1

Параметри для побудови графіків на рис. 2

$L_s$ м	$B_s$ м	$F_{M_2}$ м <sup>2</sup>	$V_n$ м/хв	$V_L$ м/хв	$\Delta t'_m$ хв	$\Delta t'_3$ хв	$t_\delta$ хв	$p$	$H$ м	$K_\phi$ м/хв
125	80	2740	12	30	10,4	2,67	36,5	0,3	0,38	0,0272





б)

Рис. 2. Зміни відносних об'ємів  $W'$  (а) і витрат води  $Q'_{др}$  (б) на інфільтраційному майданчику:

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

Аналіз даних рис. 2 показує, що найбільші об'єми дощових вод, затриманих на інфільтраційних майданчиках, та витрати дренажних вод (після майданчиків) припадають на III фазу (притік води на майданчик після завершення дощу). Тому дослідження на екстремум (максимум) формул (45) і (46) для широкого діапазону параметрів  $\psi = 0,1..3,0$  і  $\Delta t'_{cm} = 0,1..1,0$  дозволило отримати залежності визначення максимальних об'ємів  $W'_{max}$ , витрат дренажних вод  $Q'_{др,max}$  і часу від початку дощу  $t'_{max}$ , на який вони припадають

$$W'_{max} = e^{-0.43\psi} * (1 + \psi)^{-\Delta t'_{cm}}; \quad (51)$$

$$Q'_{др,max} = 1 - e^{-\psi(1+e^{-\psi} \cdot \Delta t'_{cm})} - \psi \cdot e^{-2\psi} \cdot \Delta t'_{cm} / 2; \quad (52)$$

$$t'_{max} = e^{0.3\psi}. \quad (53)$$

Для визначення виду емпіричних залежностей (51)–(53) та числових значень їх постійних параметрів на основі отриманої математичної моделі побудовано гідрографи стоку та визначено об'єми дощових вод, затриманих на інфільтраційних майданчиках. Розрахунки проводились для  $\psi = 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$  і  $\Delta t'_{cm} = 0,1..1,0$  з кроком 0,1, що охоплює практично всі діапазони вхідних параметрів у формулах (22)–(40), (49) і (50). Для отриманих значень  $t'_{max}$ ,  $W'_{max}$  і  $Q'_{др,max}$  встановлено емпіричні залежності (рис. 3, 4), а на їх основі формули (51)–(53).

Характерно, що час утворення максимального об'єму практично співпадає з часом максимальної дренажної витрати і достатньо точно ( $\pm 0,7\%$ ) апроксимується однією аналітичною лінією.

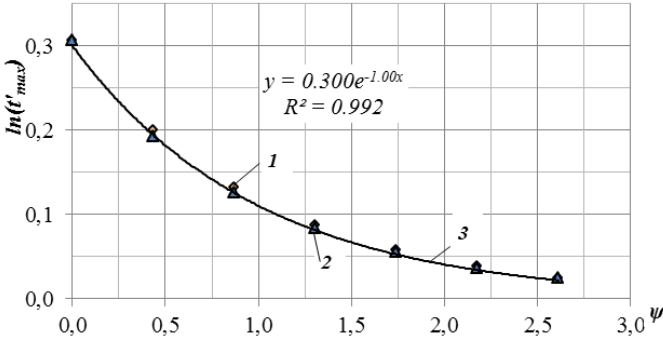
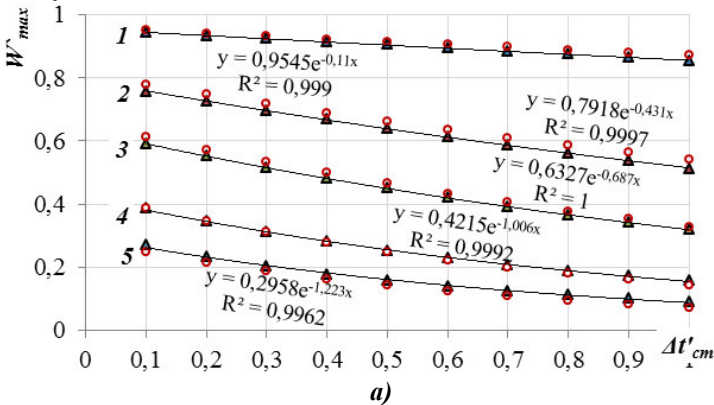


Рис. 3. Зміна відносного часу  $t'_{max}$  появи максимальних об'ємів і витрат дренажних вод на інфільтраційних майданчиках:

1 – дані утворення максимальних об'ємів; 2 – те ж, максимальних дренажних витрат; 3 – апроксимуюча залежність (53)

Порівняння величин  $W'_{max}$  і  $Q'_{dr,max}$ , розрахованих за математичною моделлю і отриманими на її основі емпіричними формулами (51) і (52), показує достатню для практичних обчислень точність, похибки якої не перевищують  $\pm 2,8\%$ .



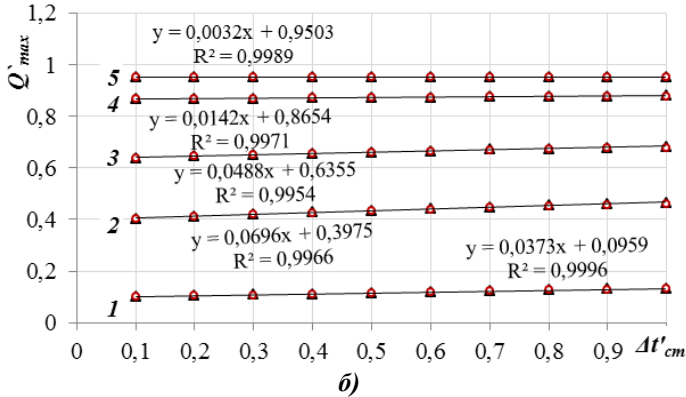


Рис. 4. Графіки зміни максимальних об'ємів  $W'_{max}(a)$  і дренажних витрат води  $Q'_{др,max}(b)$

▲ – дані розрахунків за матмоделлю; ○ – те ж, за емпіричними формулами (52) і (53); 1, 2 ..5 – залежності для  $\psi = 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$

**Висновки.** На основі лабораторних і теоретичних досліджень отримано математичну модель затримання дощових вод інфільтраційними майданчиками з водопроникними покриттями. Матмоделю дозволяє будувати гідрографи стоку за пересічною моделлю збору води, що найбільше поширена на міських територіях, а також визначати об'єми затриманих дощових вод та дренажних витрат після них залежно від конструктивних параметрів інфільтраційних майданчиків при підключенні їх 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 С. Г. Регулювання дощового стоку в системах водовідведення: монографія / С. Г. Ткачук, В. М. Жук. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 216 с. 4. Dziopak J. Analiza teoretycznai modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych / J. Dziopak. – Kraków : Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125, 1992. – 214 s. 5. Ткачук О. А. Дослідження роботи інфільтраційних майданчиків для систем дощового водовідведення / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Вип. 3(71). – Рівне : НУВГП, 2015. – С. 100-105.

Рецензент: д.т.н., професор Ковальчук В. А. (НУВГП)

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

### **MODEL OF STORMWATER DETENTION ON THE INFILTRATION AREAS**

**A mathematical model of stormwater detention on infiltration area with permeable pavement based on laboratory and theoretical studies is received. The model ensures effective stormwater management by connecting them to the storm sewer system.**

**Keywords:** stormwater management, infiltration areas, permeable pavements, linear-type and dissected-type catchments.

---

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

### **МОДЕЛЬ ЗАДЕРЖАНИЯ ДОЖДЕВЫХ ВОД НА ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПЛОЩАДКАХ**

**На основании лабораторных и теоретических исследований получена математическая модель задержания дождевых вод инфильтрационными площадками с водопроницаемыми покрытиями, которые обеспечивают эффективное регулирование дождевого стока при подключении их к системам дождевого водоотведения.**

**Ключевые слова:** регулирование дождевого стока, инфильтрационные площадки, водопроницаемые покрытия, линейная и пересеченная модель.

---