

## ВПЛИВ ЗАКОНУ ЗМІНИ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПАДАННЯ ДОЩУ НА ГІДРОГРАФИ ПРИТОКУ

© Вовк Л., 2005

**Two laws of rainfall intensity are reviewed and analysed in the paper: the linear law and the power one. The quantitative and qualitative differences of runoff hydrographs are rotined for these two laws. It is shown, that dimensionless flow-rate for power-law rain is greater than for linear-law rain. It is analyzed the shape and the peak of runoff hydrographs as the function of rainfall time and of the rainfall intensity coefficient.**

**Закони зміни інтенсивності випадання дощу.** Основним чинником, який впливає на витрату дощових стічних вод у розрахунковому перерізі, є інтенсивність випадання опадів. Розрізняють п'ять основних типів ходу випадання дощів: з максимумом інтенсивності на початку, з максимумом в середній частині, з максимумом під кінець дощу, з рівномірною інтенсивністю та з мінімумом в середній частині.

Статистичні дані показують, що найчастіше (у 37 %) трапляються дощі з максимумом інтенсивності випадання на початку [1, 2]. Аналіз пловіограм та узагальнення статистичних даних про випадання дощу привело до такої залежності для опису зміни інтенсивності випадання дощу в часі:

$$q = \frac{A}{t^n}, \quad (1)$$

де  $q$  – інтенсивність дощу, л/(с·га);  $t$  – час, що пройшов від початку дощу, хв;  $A$ ,  $n$  – параметри, що залежать від географічного розташування об'єкта та періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу  $P$ ; їх значення отримують обробкою результатів багаторічних спостережень у даній місцевості, а за відсутності таких спостережень будівельні норми [3] дають змогу користуватися типовими регіональними значеннями, наприклад, для рівнинних областей України при  $P=1$ :  $n=0,71$ .

Проте на практиці мають місце також дощі з іншими законами зміни інтенсивності випадання в часі. Очевидно, що динаміка притоку дощових стічних вод до розрахункового перерізу у цьому випадку істотно відрізнятиметься від аналогічної динаміки для спадного степеневого сценарію ходу дощу, проте це питання недостатньо висвітлене в спеціальній літературі.

**Мета роботи** – побудова гідрографів притоку дощових стічних вод до контрольного перерізу для лінійного закону зміни інтенсивності дощу в часі та порівняння їх з відповідними гідрографами для спадної степеневої інтенсивності, що використовується як базова в діючому нормативному документі [3].

В роботі детально досліджено гідрографи притоку дощових стічних вод для дощів, зміна інтенсивності яких в часі описується лінійним законом:

$$q = k_1 t + b_1, \quad (2)$$

де  $k_1$ ,  $b_1$  – змінні коефіцієнти, які характеризують конкретний сценарій ходу дощу;

$k_1$  чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу  $\alpha$  прямої  $q$  до осі абсцис (рис. 1).

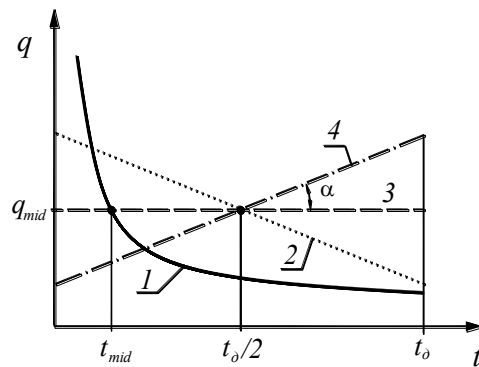


Рис. 1. Принципова схема зміни інтенсивності випадання дощу за такими законами: 1 – степеневим; 2 – лінійним ( $k_1 < 0$ ); 3 – лінійним ( $k_1 = 0$ ); 4 – лінійним ( $k_1 > 0$ )

Для зручності зіставлення порівнювалися дощі однакового об'єму, тобто з однаковою висотою шару опадів (рис. 1) та однаковою тривалістю  $t_0$ . Аналітичний вираз для визначення об'єму опадів, що випадають у басейн стоку при степеневому законі випадання дощу (1):

$$W_0 = \int_0^{t_0} \frac{AF}{t^n} dt = \frac{AFt_0^{1-n}}{1-n} \quad (3)$$

Тоді середня в часі інтенсивність дощу  $q_{mid}$ :

$$q_{mid} = \frac{W_0}{Ft_0} = \frac{A}{(1-n)t_0^n} \quad (4)$$

За степеневому закону така інтенсивність зустрічається в момент часу  $t_{mid}$ :

$$\frac{A}{t_{mid}^n} = \frac{A}{(1-n)t_0^n}$$

Звідки

$$t_{mid} = t_0 \sqrt[n]{1-n} \quad (5)$$

При значенні  $n=0,71$

$$t_{mid} = 0,1749 \cdot t_0 \quad (6)$$

Знаходимо коефіцієнти  $k_1$  і  $b_1$  у рівнянні (2):

при  $t = t_0/2$

$$q = q_{mid} = \frac{A}{(1-n)t_0^n} \rightarrow q_{mid} = k_1 \cdot t_0/2 + b_1 \rightarrow b_1 = q_{mid} - k_1 \cdot t_0/2 \quad (7)$$

З врахуванням цього загальне рівняння сімейства прямих, що описуються (2):

$$q = k_1(t - t_0/2) + q_{mid} \quad (8)$$

З іншого боку, існує обмеження  $q \geq 0$  при  $t \in [0; t_0]$ , що накладає обмеження на величину коефіцієнта  $k_1$ , який може мати місце в умовах цієї задачі:

$$|k_1| \leq \frac{2q_{mid}}{t_0} \quad (9)$$

### Гідрографи притоку при спадному степеневому законі випадання дощу

Гідрографи притоку дощових стічних вод складаються, як правило, з трьох характерних ділянок з відповідними часовими мітками:  $t_r$  – час концентрації поверхневого стоку дорівнює тривалості протікання дощових вод по поверхні і трубах до розрахункового перерізу;  $t_0$  – тривалість дощу;  $(t_r + t_0)$  – час допливу останньої краплини води до контрольного перерізу з усієї площі стоку після закінчення дощу.

Гідрограф притоку найбільше залежить від зміни в часі інтенсивності дощу, але в загальному випадку вони визначаються багатьма частковими чинниками, серед яких: конфігурація басейну каналізування в плані, геодезичний похил місцевості, тип поверхні басейну, тип та конструкція внутрішньоквартальної мережі тощо.

При розрахунку системи дощового водовідведення найчастіше користуються так званою лінійною моделлю концентрації поверхневого стоку [1], яка ґрунтується на таких припущеннях: швидкість припливу поверхневих стічних вод постійна в часі та по площі басейну стоку; коефіцієнт поверхні стоку постійний по площі та не змінюється в часі; зміна площі ділянки, з якої формується величина стоку в розрахунковому перерізі; відбувається за лінійним законом (рис. 2).

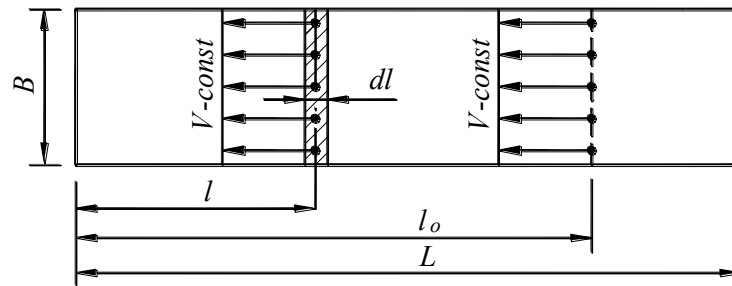


Рис. 2. Лінійна схема концентрації поверхневого стоку

Приймаючи, що інтенсивність дощу змінюється за формулою (1), витрати дощових стоків на кожному із етапів гідрографа описуються так [4, 5].

На першому етапі (при  $t \leq t_r$ )

$$Q_{1, \text{min}}^{cm} = \frac{z_{mid} AF}{t_r \cdot (1-n)} t^{1-n}, \quad (10)$$

де  $z_{mid}$  – середнє значення коефіцієнта, що характеризує поверхню басейну стоку;  $F$  – площа басейну каналізування цього розрахункового перерізу, га.

Другий етап гідрографа (при  $t_r \leq t \leq t_d$ ) характеризується тим, що витрата у цьому перерізі формується поверхневим стоком з усього басейну каналізування ( $F=const$ ). Тоді

$$Q_{2, \text{min}}^{cm} = \frac{z_{mid} AF}{t_r \cdot (1-n)} [t^{1-n} - (t - t_r)^{1-n}]. \quad (11)$$

Приймаючи час повного стікання поверхневого стоку таким, що дорівнює часові поверхневої концентрації  $t_r$ , на третьому етапі ( $t_d \leq t \leq (t_d + t_r)$ ) отримують

$$Q_{3, \text{min}}^{cm} = \frac{z_{mid} AF}{(1-n) \cdot t_r^n} [(t_d / t_r)^{1-n} - (t / t_r - 1)^{1-n}]. \quad (12)$$

Характерною витратою гідрографа є максимальна секундна або розрахункова витрата  $Q_r$ , яка спостерігається в момент часу  $t_r$ . Ця витрата є основним вхідним параметром під час проектування дощових водовідвідних колекторів та споруд на мережі. Для лінійної моделі при степеневому сценарії випадання дощу

$$Q_{r, \text{min}}^{cm} = \frac{z_{mid} AF}{(1-n) \cdot t_r^n}. \quad (13)$$

### Гідрографи притоку за лінійного закону випадання дощу

Приймаючи такі самі припущення, як і при зміні інтенсивності за степеневим законом, отримаємо залежності для визначення витрати дощового стоку за умови зміни інтенсивності випадання дощу за лінійним законом (2).

Для першого етапу з врахуванням умови  $F_t = B \cdot l_o = F \frac{t}{t_r}$  одержимо

$$Q_1^{nin} = z_{mid} B \int_0^{l_o} [q_{mid} + k_1(t - l/v - t_o/2)] dl = z_{mid} F \frac{t}{t_r} [q_{mid} + k_1(t - t_o)/2]. \quad (14)$$

Другий етап гідрографа ( $t_r \leq t \leq t_o$ ;  $F=const$ ) характеризується витратою

$$Q_2^{nin} = z_{mid} B \int_0^L [q_{mid} + k_1(t - l/v - t_o/2)] dl = z_{mid} F [q_{mid} + k_1(t - t_r/2 - t_o/2)]. \quad (15)$$

Для третього етапу гідрографа ( $t_r \leq t \leq t_o + t_r$ ) інтегрування по площі у відповідний момент часу дає

$$Q_3^{nin} = z_{mid} B \int_{l_o}^L [q_{mid} + k_1(t - l/v - t_r/2)] dl = z_{mid} F t_r \left[ (1 - x + x_n) \left( q_{mid}/t_r + k_1(x - x_n/2) \right) - \frac{k_1}{2} + \frac{k_1}{2}(x - x_n)^2 \right]. \quad (16)$$

В момент часу  $t_r$  за лінійного закону зміни інтенсивності випадання дощу максимальна розрахункова витрата  $Q_r$  становить

$$Q_{r,lin}^{nin} = z_{mid} F [q_{mid} + k_1(t_r - t_o)/2]. \quad (17)$$

Для можливості порівняння гідрографів за різних сценаріїв випадання дощу витрати були приведені до спільного знаменника – розрахункової витрати для степеневого закону зміни інтенсивності  $Q_{r,lin}^{cm}$ . Одержані результати показані на рис. 2.

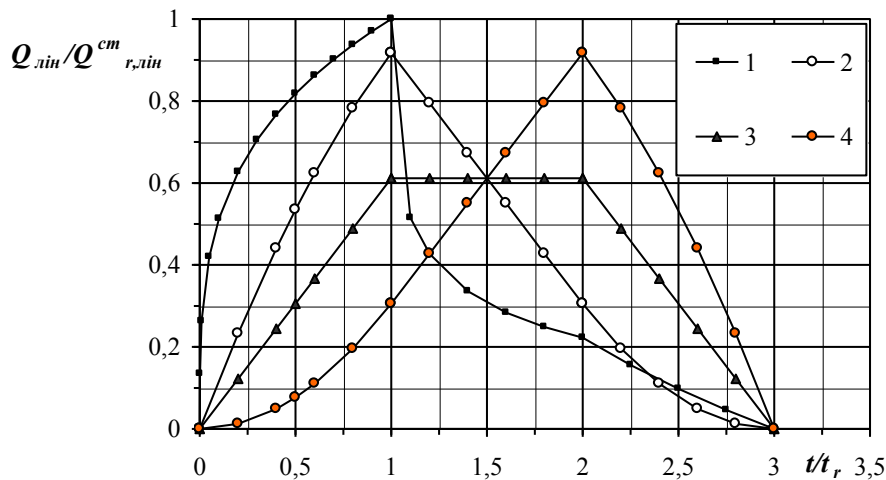


Рис. 2. Гідрографи притоку дощових вод за різних законів зміни інтенсивності дощу:

- 1 – степеневого  $q = A/t^n$ ; 2 – лінійного  $q = k_1 t + b_1$  при  $k_1 = k_{min} = -1,61$ ;  
 3 – те саме, при  $k_1 = 0$ ; 4 – те саме, при  $k_1 = k_{max} = 1,61$   
 ( $n = 0,71$ ;  $A = 838,9$ ;  $t_o = 120$  хв;  $t_o/t_r = 2$ )

Як зрозуміло з рис. 2, за умови  $t_r < t_o$  при однакових об'ємах дощу та шару опадів розрахункова витрата  $Q_{r,lin}^{cm}$  найбільша за степеневого сценарію випадання дощу (крива 1, рис. 2), тоді, як за лінійного сценарію  $Q_{r,lin}^{nin}$  менше за різних значень коефіцієнта  $k_1$ . Найменше значення розрахункової витрати дощу  $Q_{r,lin}^{nin}$  спостерігається за однакової інтенсивності протягом усієї тривалості дощу (крива 3, рис. 2). Причому за цієї умови не спостерігається піку  $Q_{lin}^{nin}$ , що є

найбільш вигідною умовою для роботи водовідвідних мереж. Значення  $Q_{r,lin}^{lin}$  зростає симетрично щодо  $k_l=0$  за збільшення чи зменшення значення коефіцієнта  $k_l$ . Найбільше значення досягається при  $k_{max}$  та  $k_{min}$  (криві 2 і 4, рис. 2).

Максимальне значення  $Q_{r,lin}^{lin}$  за лінійним законом дорівнюватиме  $Q_{r,lin}^{cm}$  для степеневого сценарію випадання дощу лише за умови  $t_r = t_\delta$ , як бачимо з рис. 3. За цієї умови  $Q_{r,lin}^{lin}$  залишається сталою, незалежно від значення коефіцієнтів  $k_l$ .

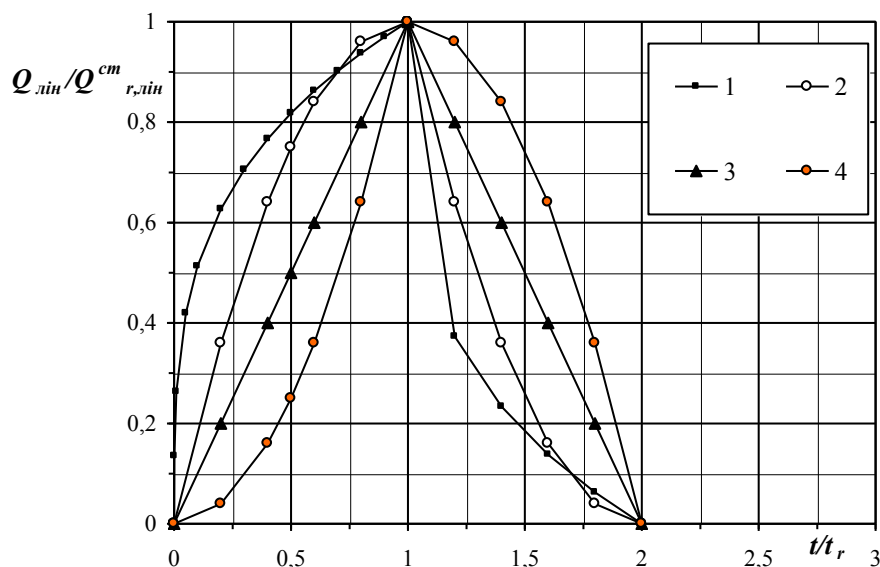


Рис. 3. Гідрографи притоку дощових вод за різних законів зміни інтенсивності дощу:

1 – степеневого  $q = A/t^n$ ; 2 – лінійного  $q = k_l t + b_1$  при  $k_l = k_{min} = -1,61$ ;

3 – те саме, при  $k_l = 0$ ; 4 – те саме, при  $k_l = k_{max} = 1,61$

( $n = 0,71$ ;  $A = 838,9$ ;  $t_\delta = 120$  хв;  $t_\delta / t_r = 1$ )

Коли  $t_r > t_\delta$ , зрозумілим є те, що максимальна витрата за лінійним законом зміни інтенсивності дощу буде меншою за витрату, розраховану за степеневим законом зміни інтенсивності. У цьому разі площа, з якої стікає дощова вода за час  $t_\delta$ , є меншою за загальну площу стоку.

**Висновки.** Інтенсивність випадання опадів є одним з найважливіших чинників, який впливає на витрату дощових стічних вод у розрахунковому перерізі. Статистичні дані показують, що найчастіше випадають дощі із степеневим законом зміни інтенсивності в часі (1). Проте можливі також інші закони зміни інтенсивності дощу в часі, в тому числі і лінійні (2).

У роботі детально описані і побудовані гідрографи притоку дощових стічних вод до контрольного перерізу для лінійного закону інтенсивності та порівняння їх з відповідними гідрографами для спадної степеневої інтенсивності випадання дощу, що використовується як базова в діючому нормативному документі [3]. Показано, що для дощів зі степеневим законом випадання досягається більше значення розрахункової витрати порівняно з дощами, інтенсивність яких змінюється за лінійним законом. Проаналізовано поведінку гідрографів залежно від тривалості дощу та різних значень коефіцієнта зміни інтенсивності  $k_l$ . Значення  $Q_{r,lin}^{lin}$  значною мірою залежить від значення  $k_l$ : мінімальне значення розрахункової витрати досягається при  $k_l = 0$ , максимальні значення – при  $k_{min}$  та  $k_{max}$ . Розрахункова витрата за лінійним законом зміни інтенсивності дощу дорівнює значенню розрахункової витрати за степеневим законом лише за умови  $t_r = t_\delta$ . Для дощів іншої тривалості  $Q_{r,lin}^{lin} < Q_{r,lin}^{cm}$ .

Показано, що найбільш сприятливим для експлуатації водовідвідних мереж є дощ із постійною в часі інтенсивністю випадання (при  $k_l = 0$ ). Найнебезпечнішим є дощ зі спадним степеневим законом зміни інтенсивності в часі.

1. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л., 1990. 2. Курганов А.М. Закономерности движения воды в дождевой и общесплавной канализации. – М., 1982. 3. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. – М., 1986. 4. Жук В.М., Вовк Л.И. Усовершенствование методики расчета регулирующей емкости сборников атмосферных сточных вод // Шестой Международный конгресс "Вода. Экология и технология. ЭКВАТЭК-2004". – Москва, 1–4 июня 2004. – Ч. 2. – С. 756–757. 5. Жук В.М., Вовк Л.И. Гідрографи притоку поверхневих стічних вод при різних моделях концентрації стоку // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація". – 2004. – №461. – С. 16–19.

УДК 621.187

**Б. Білоус, \*А. Сапаров**

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра теоретичної механіки,  
\*НБК "Акустотехнік"

## **ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНИХ КОНЦЕНТРАТОМІРІВ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ (ХВО)**

© Білоус Б., Сапаров А., 2005

**In this article stated principles make use of the ultrasonic concentrate gauge for the sustems of chemical wate preparation.**

**Постановка задачі.** Чільним питанням налагодження та експлуатації установок хімічного очищення води (ХВО) є гарантоване метрологічне забезпечення:

- виготовлення і подача в іонітні фільтри регенеруючих розчинів заданої концентрації згідно з вимогами нормативно-технічної документації;
- автоматичного контролю тривалості та якості технологічного процесу регенерації іонітних фільтрів.

**Аналіз існуючих методів.** У виробничій практиці хімічного очищення води для метрологічного забезпечення цих двох етапів технологічного процесу регенерації іонітних фільтрів використовують методи дискретного та неперервного контролю.

Метод дискретного контролю ґрунтується на вимірюванні концентрації дискретно відібраних проб регенеруючого розчину за допомогою звичайного ареометра. Недоліки цього методу обумовлені об'єктивними та суб'єктивними чинниками. До перших можна віднести:

- недосконалість конструкції обладнання для виготовлення розчинів;
- фізичну зношеність та моральну застарілість обладнання;
- надзвичайно високу агресивність регенеруючих розчинів;
- високі або низькі температури (відмінні від нормальної) розчину та його складових;
- високий тиск в магістралях подачі розчинів;
- складні, небезпечні та шкідливі умови праці персоналу;
- високу часову тривалість вимірювання концентрації розчину, пов'язану з приведенням його температури до нормальної.

До суб'єктивних чинників потрібно віднести:

- низьку кваліфікацію операторів цехів та дільниць ХВО;