

ГІДРОГРАФИ ПРИТОКУ ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД ЗА РІЗНИХ ВИСОТНИХ СХЕМ БАСЕЙНІВ СТОКУ ДЛЯ ДОЩІВ ПОСТІЙНОЇ В ЧАСІ ІНТЕНСИВНОСТІ

© Жук В.М., Попадюк І.Ю., Матлай І.І., 2008

Виконано теоретичний аналіз залежності гідрографів притоку дощових стічних вод від висотної схеми басейна стоку. Отримано узагальнені гідрографи притоку дощових стічних вод з лінійних у плані басейнів стоку зі змінним по довжині похилом для дощів постійної в часі інтенсивності. Реалізований в режимі on-line фізичний експеримент дозволив отримати уточнені гідрографи притоку для співвідношення похилів 1/9 і 9.

The theoretical analysis of dependence of run-off hydrographs of storm-water for the watersheds with different vertical schemes is fulfilled in this study. There are obtained the generalized storm-water hydrographs for the linear watersheds with the various slope schemes and for the constant intensity rains. Physical on-line experiment allowed to obtain the specified storm-water hydrographs in the range of the slope correlation from 1/9 to 9.

Постановка проблеми. Гідрограф притоку дощових стічних вод – це залежність об'ємної витрати у конкретному перерізі дощової водовідвідної мережі від часу. Параметри гідрографа притоку значною мірою залежать від характеристик басейна стоку: його конфігурації в плані, абсолютних розмірів, виду поверхневого покриття, висотної схеми тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У відомих методиках розрахунку поверхневого стоку басейн стоку з метою спрощення приймається плоским з однаковим у всіх точках басейна геодезичним похилом [1, 2]. Проте більшість реальних басейнів стоку мають неоднаковий по довжині басейна похил, що може певним чином впливати на динаміку притоку дощових стічних вод.

Мета роботи: теоретичне і експериментальне дослідження впливу неоднорідності висотної схеми басейна стоку на гідрографи притоку дощових стічних вод для дощів постійної в часі інтенсивності.

Результати досліджень. Для виявлення загальних тенденцій щодо впливу висотної схеми на гідрографи притоку було аналітично та експериментально досліджено три принципово відмінних басейни стоку: з постійним похилом, зі зменшенням похилу та зі збільшенням похилу (рис. 1). З метою спрощення басейни стоку прийнято лінійними в плані, а зміна похилу приймається посередині довжини басейна стоку.

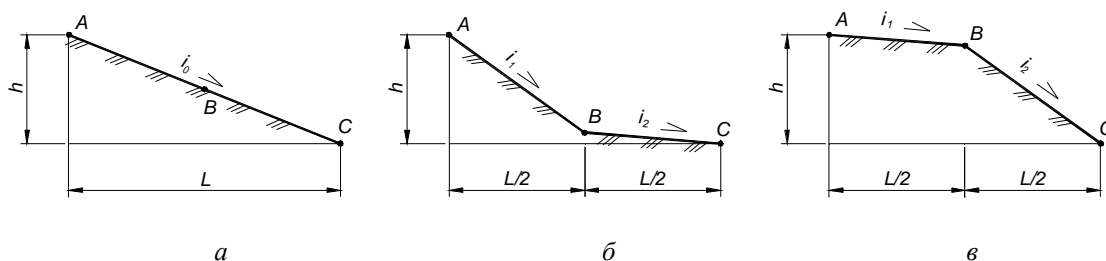


Рис. 1. Досліджувані висотні схеми лінійного в плані басейна стоку

Для можливості порівняння розглядаються три аналогічні басейни стоку з однаковою довжиною, площею, коефіцієнтом покрову та однаковим перепадом відміток на початку і в кінці басейна (т. А і т. С відповідно).

У такому випадку співвідношення похилів i_0, i_1 і i_2 :

$$i_0 = (i_1 + i_2) / 2.$$

Вводимо безрозмірний параметр – співвідношення похилів:

$$C_i = \frac{i_1}{i_2} ; \quad \frac{i_0}{i_2} = \frac{(C_i + 1)}{2} ;$$

звідки

$$i_2 = \frac{2i_0}{C_i + 1} ; \tag{1}$$

$$i_1 = 2i_0 - i_2 = 2i_0 \left(1 - \frac{1}{C_i + 1} \right) = \frac{2i_0 C_i}{C_i + 1}. \tag{2}$$

Наприклад, у разі середнього похилу $i_0 = 0,01$ і $C_i = 9$:

$$i_1 = \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 9}{10} = 0,018 ; \quad i_2 = \frac{2 \cdot 0,01}{10} = 0,002.$$

Важливим є питання, як співвідносяться середні швидкості течії поверхневого потоку на першій та другій ділянках (відповідно V_1 і V_2).

За формулою Шезі : $V = C\sqrt{Ri}$; за Манінгом : $C = \frac{1}{n} R^{1/6} \rightarrow V \approx \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{i}$.

При цьому припускається, що швидкості руху достатньо великі і на обох ділянках (АВ і ВС) існує квадратична зона опору. Гідравлічний радіус для широкого і мілкого поверхневого потоку може бути прийнятий таким, що дорівнює його глибині ($R = h$). Нехтуючи у першому наближенні зміною гідравлічного радіуса поверхневого потоку по довжині басейна стоку, отримують масштаб швидкості C_V у вигляді

$$C_V = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{i_1}{i_2}} = C_i^{0,5} ; \tag{3}$$

Аналітично можна показати, що час поверхневої концентрації за різних значень C_i буде різним. Час концентрації за однакового похилу i_0 :

$$t_{r0} = \frac{L}{V_0}.$$

У разі змінного похилу басейна стоку:

$$t_r = \frac{L}{2V_1} + \frac{L}{2V_2} = \frac{L(V_1 + V_2)}{2V_1V_2} = \frac{V_0 t_{r0} (V_1 + V_2)}{2V_1V_2}.$$

З формул (1)–(3) очевидно, що

$$\frac{V_1}{V_0} = \sqrt{\frac{2C_i}{C_i + 1}} ; \quad \frac{V_2}{V_0} = \sqrt{\frac{2}{C_i + 1}}. \tag{4}$$

Співвідношення часу поверхневої концентрації дощового стоку за змінного та за постійного по довжині басейна стоку похилу:

$$C_t' = \frac{t_r}{t_{r0}} = \frac{V_0(V_1 + V_2)}{2V_1V_2} = \frac{V_0}{2V_2} + \frac{V_0}{2V_1} = \sqrt{\frac{C_i + 1}{8}} + \sqrt{\frac{C_i + 1}{8C_i}} ; \tag{5}$$

Час поверхневої концентрації з другої (нижньої за течією) ділянки басейна стоку:

$$t_{r2} = \frac{L}{2V_2}.$$

Відносний час поверхневої концентрації з другої ділянки басейна стоку:

$$X_2 = \frac{t_{r2}}{t_r} = \frac{C_V}{C_V + 1}. \quad (6)$$

Оскільки інтенсивність дощу приймається постійною в часі, то у момент часу t_{r2} витрата дощового стоку в контрольному перерізі дорівнює половині розрахункової витрати:

$$Q_{r2} = Q_r/2.$$

Отже, в узагальнених координатах безрозмірний час концентрації дощового стоку з половини басейна стоку зі змінним похилом дорівнює $X_2 C'_i$, а безрозмірна витрата при цьому становить $Q'=0,5$.

Узагальнені гідрографи притоку в безрозмірних змінних для значень $C_i=1/9; 1/4; 1; 4$ і 9 показані на рис. 2.

Характеристики безрозмірних гідрографів притоку

C_i	1/25	1/16	1/9	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	9	16	25
$C_V \approx (C_i)^{1/2}$	0,20	0,25	0,33	0,50	0,58	0,71	1,00	1,41	1,73	2,00	3,00	4,00	5,00
C'_i	2,163	1,822	1,491	1,186	1,115	1,045	1,00	1,045	1,115	1,186	1,491	1,822	2,163
X_2	0,167	0,200	0,250	0,333	0,366	0,414	0,500	0,586	0,634	0,667	0,750	0,800	0,833
$X_2 C'_i$	0,361	0,364	0,373	0,395	0,408	0,433	0,500	0,612	0,707	0,791	1,118	1,458	1,803

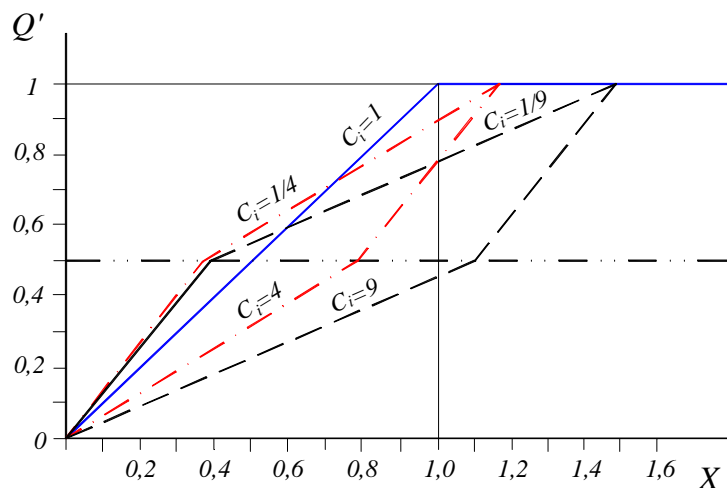


Рис. 2. Безрозмірні гідрографи притоку дощових стічних вод з лінійних у плані басейнів стоку зі змінним похилом для дощів постійної в часі інтенсивності (у припущенні $C_V=C_i^{1/2}$)

Для перевірки отриманих аналітичним методом результатів було заплановано і реалізовано фізичний експеримент – моделювання гідрографа притоку з лінійного в плані басейна зі змінним похилом. Експериментальна установка детально описана в [3]. Досліджувалися графіки притоку дощових вод для дощу постійної в часі інтенсивності з модельного басейна довжиною $L=2400$ мм та шириною $B=305$ мм. Досліджувалися басейни стоку зі співвідношенням похилів $C_i=1/9$, $C_i=1$, $C_i=9$. При цьому абсолютні значення похилів становили: для першої схеми – $i_1=0,002$; $i_2=0,018$; для другої схеми – $i_0=0,01$; для третьої схеми – $i_1=0,018$; $i_2=0,002$.

Експериментальні дослідження виконували на дослідній установці, змонтованій в комплексній лабораторії гідравліки та сантехніки Національного університету "Львівська політехніка". Модельний дощ постійної в часі інтенсивності імітувався за допомогою насоса з електронним керуванням Grundfos UPE25–40 та розподільного перфорованого трубопроводу $D=40 \times 4,4$ мм; $L=2400$ мм. Притік у часі дощового стоку до контрольного перерізу визначали автоматично в

режимі on-line за допомогою електронної ваги Axis DBU-60 з цифровим виходом RS-232. Допустима похибка визначення маси рідини: ± 10 г. Значення маси резервуара з модельним "дощовим стоком" оновлювалися автоматично кожні 0,125 с з виведенням результатів на персональний комп'ютер у вигляді файла даних у форматі txt.

Графіки залежності об'єму дощового стоку від часу оброблялися з метою отримання гідрографів притоку. Об'ємну витрату знаходили як першу похідну об'єму по часу. Порівняння гідрографів притоку для трьох висотних схем басейна стоку за постійної в часі витраті модельного дощу $Q_r=0,18$ л/с показано на рис. 3.

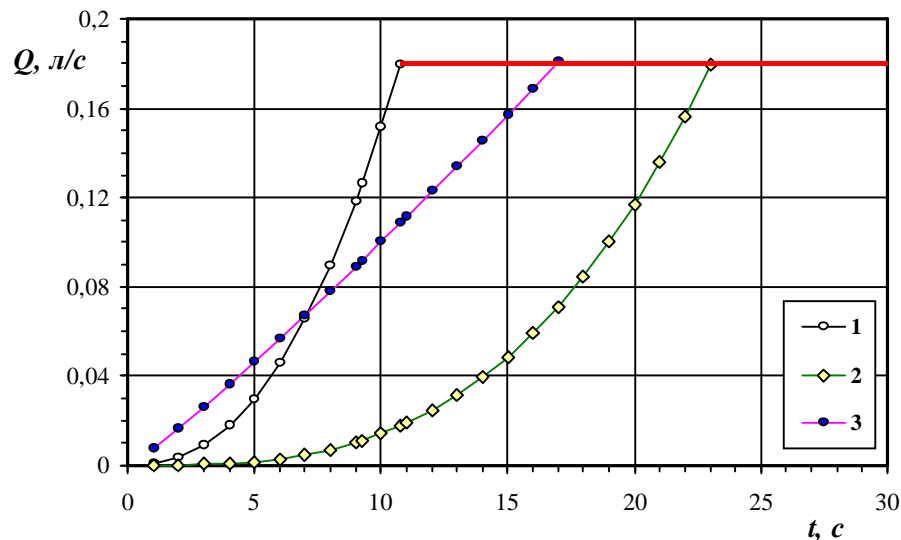


Рис. 3. Експериментальні гідрографи притоку з лінійного в плані басейна стоку для дощів постійної в часі інтенсивності для різних висотних схем басейна стоку: 1 – $i_1=i_2=0,01$; 2 – $i_1=0,018$, $i_2=0,002$; 3 – $i_1=0,002$, $i_2=0,018$

Отримано такі рівняння ліній тренду. Для висотної схеми на рис. 1,а:

$$Q = 6,75 \cdot 10^{-4} \cdot t^{2,35}; \quad (7)$$

для висотної схеми зі зменшенням похилу (рис. 1,б):

$$Q = 1,23 \cdot 10^{-5} \cdot t^{3,06}; \quad (8)$$

для висотної схеми зі збільшенням похилу (рис. 1,в):

$$Q = 7,69 \cdot 10^{-3} \cdot t^{1,11}. \quad (9)$$

Висновки. Теоретично і експериментально показано істотний вплив на гідрографи притоку дощових стічних вод висотної схеми басейна стоку, тобто зміни по довжині басейна його геодезичного похилу. Для трьох висотних схем лінійного в плані басейна стоку отримано істотно відмінні гідрографи притоку дощових стічних вод. Найменший час концентрації поверхневого стоку отримано для басейна з постійним у всіх точках похилом, найбільший час концентрації – для басейна зі зменшенням похилу по довжині, рахуючи від найдалшої точки до контрольного перерізу. Найбільш "заповнений" гідрограф отримано для басейна з постійним по довжині похилом.

1. Калишун В.И. Водостводящие сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.– 336 с.
2. Курганов А.М. Закономерности движения воды в дождевой и общесплавной канализации. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
3. Жук В.М., Вовк Л.І., Попадюк І.Ю. Експериментальне дослідження регульовального об'єму резервуарів дощових стічних вод для дощів постійної в часі інтенсивності // Вісник Нац. у-ту "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – Львів. – № 600. – 2007. – С. 120–124.