

Stormwater hydrograph from radial in a plan watershed with constant longitudinal slope

Ivan Matlay

Hydraulics and sanitary engineering department,
Lviv Polytechnic National University,
UKRAINE, Lviv, S. Bandery street 12,
E-mail: i.matlay@gmail.com

Reliability of the stormwater sewerage systems of the cities and industrial enterprises is an important part of their normal activity. It has an influence on the ecological state of environment too.

A basic hydraulic parameter for stormwater sewerage systems design is stormwater hydrograph. In the widespread methods not all parameters, which influence on stormwater hydrographs, are taken into account. The main parameters of stormwater hydrograph are peak discharge and time of flow concentration.

In Ukraine these parameters are calculated by method presented in a normative document [1]. In this method stormwater peak discharge is calculated by formula (1). Time of concentration of stormwater flow is calculated by formulas (2) or (3). In this method are not taken into account the shape of watershed, the variable overland flow velocity and cross-dependence of the time of concentration and rainfall intensity.

In foreign engineering practice the rational method is most frequently used for the stormwater calculation. This method takes into account the variable overland flow velocity (kinematic wave solution) and cross-dependence of the time of concentration and rainfall intensity, but not takes into account shape of watershed. In this method peak discharge and time of concentration are calculated respectively by formulas (4) and (5).

The improved method of stormwater hydrograph calculation from radial in plan watersheds, taking into account the variable overland flow velocity and cross-dependence of the time of concentration and rainfall intensity, was developed at the Department of Hydraulics and Sanitary Engineering of the Lviv Polytechnic National University.

In this method stormwater peak discharge is calculated by formula (6), time of concentration is calculated by formula (7).

Numerical experiments were performed for the comparison of results, obtained by three different methods. Dependences of stormwater peak discharge versus the area of radial watershed are presented on Fig. 1.

Розрахункові гідрографи притоку з радіальних у плані басейнів з постійним поздовжнім похилом

Іван Матлай

Кафедра гідравліки та сантехніки,
Національний університет "Львівська політехніка",
УКРАЇНА, м.Львів, вул.С.Бандери, 12,
E-mail: i.matlay@gmail.com

У роботі представлено методику розрахунку гідрографів притоку дощових стічних вод з радіальних у плані басейнів стоку з постійним поздовжнім похилом. Отримано відповідні залежності для обчислення розрахункової витрати та часу поверхневої концентрації дощового стоку.

Ключові слова – дощовий стік, радіальний басейн стоку, гідрограф притоку, розрахункова витрата, час поверхневої концентрації.

Вступ

Стійкість і надійність роботи систем дощового водовідведення міст, інших населених пунктів та промислових підприємств є важливою складовою забезпечення їх нормальної діяльності, впливає на екологічний стан довкілля. Пікові навантаження на водовідвідну мережу під час сильних дощів становлять суттєву загрозу для нормального функціонування як мережі, так і очисних споруд: підвищується небезпека переповнення мережі та підтоплення території об'єкта, різко зростає імовірність погіршення якості очищення поверхневого стоку або ж його суміші з господарсько-побутовими та виробничими стічними водами.

Основною характеристикою поверхневого стоку при проектуванні систем дощового водовідведення є розрахунковий гідрограф притоку дощових стічних вод. На гідрограф притоку впливають характеристики басейна стоку (площа, протяжність, конфігурація в плані вид покриття, похил, висота шару початкового затримання), кліматичні умови (інтенсивність та тривалість дощу, кліматичні коефіцієнти), вибраний період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу та ін. Одним із важливих параметрів, який не враховується при розрахунку гідрографів притоку у діючих вітчизняних та закордонних методах, є конфігурація басейна стоку в плані.

Відомі методи розрахунку гідрографів

Визначальними параметрами гідрографів притоку є розрахункова витрата та час поверхневої концентрації. У вітчизняних методиках розрахунку гідрографів використовується метод граничних інтенсивностей [1]. Згідно даного методу розрахункова витрата дощових стічних вод:

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

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта, який характеризує поверхню басейна стоку; F – загальна площа басейна стоку, га; t_r – розрахункова тривалість дощу, рівна часові концентрації поверхневого стоку для даного перерізу, хв; A і n – параметри, які залежать від кліматичних особливостей регіону.

Час концентрації дощового стоку згідно [1]:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p \quad (2)$$

де t_{con} – час поверхневої концентрації, згідно [1] його рекомендується приймати рівним 5-10 хв. при відсутності внутрішньоквартальної закритої дощової мережі і 3-5 хв. – при її наявності; t_{can} – час протікання води по лотках до дощоприймача, хв.; t_p – час протікання води по трубопроводах, хв.

Час поверхневої концентрації також можна розраховувати за формулою Абрамова-Шигоріна [2]:

$$t_{con} = \left(\frac{1,5 n_1^{0,6} L_{con}^{0,6} 166,7^{0,5}}{z_{mid}^{0,3} i_o^{0,3} A^{0,5}} \right)^{\frac{1}{(1-0,5n)}} \quad (3)$$

де L_{con} , i_o , n_1 – відповідно довжина, похил і коефіцієнт шорсткості басейна стоку.

У закордонній інженерній практиці для розрахунку параметрів гідрографа найчастіше використовують *раціональний метод* [3]. Згідно з ним:

$$Q_r = C_f C q_d F \quad (4)$$

де C_f – коефіцієнт водонасичення ґрунту басейна стоку; C – безрозмірний коефіцієнт стоку раціонального методу, який виражає відношення об'єму стоку до об'єму опадів (тобто $C = \psi_{mid}$); q_d – розрахункова інтенсивність дощу тривалістю, що дорівнює часу концентрації поверхневого стоку t_{con} , який визначають за методом кінематичної хвилі:

$$t_{con} = \frac{L_{con} n_1^{0,6}}{(\psi_{mid} q_d)^{0,4} i_o^{0,3}} \quad (5)$$

Перевагою раціонального методу при обчисленні розрахункової витрати є врахування зворотного взаємозв'язку між інтенсивністю дощу та часом поверхневої концентрації.

Гідрографи притоку з радіальних в плані басейнів

На кафедрі гідравліки та сантехніки НУ «Львівська політехніка» було розроблено методику розрахунку гідрографів притоку з радіальних в плані басейнів з постійним поздовжнім похилом. Розрахункова витрата дощового стоку з таких басейнів обчислюється за формулою:

$$Q_{r, pad} = (\psi_{mid} q_{20})^{\frac{1}{1-0,4n}} \left(\frac{1200 \cdot i_o^{0,3}}{1,41 \cdot n_1^{0,6} R_{con}^{0,6}} \right)^{\frac{n}{1-0,4n}} \cdot F \quad (6)$$

де R_{con} – радіус концентрації стоку; ψ_{mid} – коефіцієнт стоку; q_{20} – інтенсивність дощу, л/(с·га), для даної місцевості тривалістю 20 хв. при періоді одноразового перевищення $P=1$ рік.

Час поверхневої концентрації:

$$t_{con, pad} = \left[\frac{1,41 \cdot (R_{con} \cdot n_1)^{0,6}}{(1200^n \psi_{mid} q_{20})^{0,4} i_o^{0,3}} \right]^{\frac{1}{1-0,4n}} \quad (7)$$

Результати

Отримано залежності часу поверхневої концентрації та розрахункової витрати поверхневого стоку залежно від площі радіальних у плані басейнів стоку та їх протяжності за трьома різними методами: методом СНиП 2.04.03-85 з використанням формули Абрамова-Шигоріна для обчислення часу поверхневої концентрації t_{con} (далі метод №1), описаним вище методом кафедри ГС Національного університету «Львівська політехніка» (метод №2) та раціональним методом з використанням методу кінематичної хвилі (метод №3).

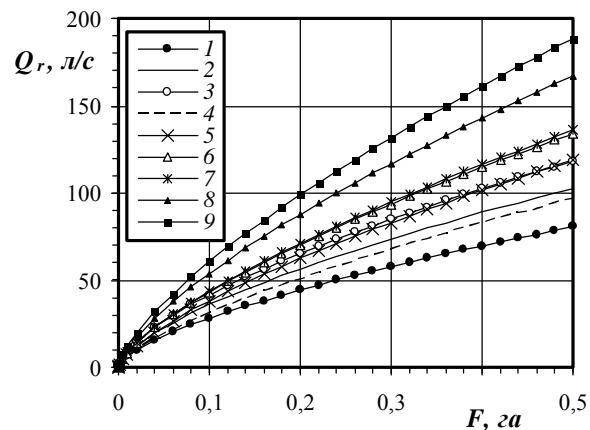


Рис. 1. Залежності максимальної витрати дощового стоку Q_r від площі радіального в плані басейна стоку F ; 1, 2, 3 – за методом №1 при $i_o=0,01$, $i_o=0,02$, $i_o=0,03$ відповідно; 4, 5, 6 – за запропонованим методом №2 при $i_o=0,01$, $i_o=0,02$, $i_o=0,03$ відповідно; 7, 8, 9 – за методом №3 при $i_o=0,01$, $i_o=0,02$, $i_o=0,03$ відповідно ($q_{20}=100$ л/(с·га); $\psi_{mid}=0,95$; $n=0,71$; $i_o=0,02$; $n_1=0,013$; $P=1$ рік)

Висновок

У роботі представлено метод для розрахунку гідрографів притоку дощових стічних вод з радіальних у плані басейнів стоку з постійним поздовжнім похилом. Наведено відповідні залежності для обчислення розрахункової витрати та часу поверхневої концентрації. Проведено порівняльний аналіз результатів, отриманих за різними методами розрахунку гідрографів.

Література

- [1] СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
- [2] Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения. / В.И. Калицун // Учеб. Пособие. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.
- [3] Mays L.W. Stormwater collection systems design handbook / L.W. Mays – McGraw-Hill Professional, 2001. – 1008 p.