

Ткачук О. А., д.т.н., професор, Сальчук В. Л., провідний інженер
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

НОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ СТОКУ ДОЩОВИХ ВОД ПРИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННІ НА МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ

Обґрунтовано необхідність нових підходів до проектування міських систем дощової каналізації. Запропоновано уточнення до чинних нормативів з регулювання дощового стоку на міських територіях на основі статистичних залежностей параметрів дощів.

Ключові слова: дощові води, затоплення територій, регулювання стоку дощових вод.

Затоплення і підтоплення міських територій, що спостерігаються в останні роки в містах України, пов'язане не тільки із інтенсивними змінами у їх благоустрої, старінням і зношенням водовідвідних мереж і споруд, змінами клімату на планеті, але і в наслідок суттєвих змін гідрологічного балансу територій міст, зокрема збільшення об'єму дощового стоку в понижених місцях міських територій. Запроектовані за чинними (і до нині) методиками [1, 2] існуючі системи дощової каналізації не забезпечують якісного відведення дощових стоків з міських територій і потребують нових комплексних підходів до питань їх проектування, реконструкції та управління водовідведенням на забудованих територіях [3–6].

Вирішення цих питань потребує уточнення методів формування дощового стоку, гідравлічних розрахунків та удосконалення систем дощового водовідведення. Останні дослідження [3–9] показують, що особливістю проблеми є її складність, яка обумовлена місцевими погодними факторами, індивідуальністю забудови міських територій, типом та станом систем водовідведення тощо.

При проектуванні міських дощових систем каналізації розрахункові витрати дощових вод нині чинні державні будівельні норми [1] рекомендують визначати за *методом граничних інтенсивностей*, який розроблений П. Ф. Горбачовим у 1915...1922 рр. [2] і базується на припущенні, що гранична інтенсивність дощу q описується оберненою степеневою залежністю. За даними раніше проведених досліджень [3, 5, 6] встановлено, що цей метод немає достатнього наукового обґрунтування, є громіздким в розрахунках, базується на «застарілих» даних і потребує уточнення. При цьому основними недоліками чинної норма-

тивної методики розрахунків є:

– визначення розрахункової тривалості дощу рівним сумі тривалостей протікання стічних вод по поверхні, в лотках і трубах до розрахункової ділянки не відповідає сучасним науковим уявленням і моделям формування стоку та гідрографів притоку дощових стічних вод (*за цим методом* – розрахункова витрата води по довжині колектора без бокових припливів – зменшується);

– неврахування сумісної роботи всіх ділянок колектора, рівнів води у водоймі та очисних спорудах, особливо в напірному режимі, призводить до необґрунтованого завищення діаметрів трубопроводів;

– визначення коефіцієнта покриву, що характеризує басейн стоку, немає теоретичного обґрунтування і не відповідає набагато вищій точності всіх інших розрахунків;

– параметри, що залежать від кліматичних факторів, розраховані на «застарілих» даних (понад 50 років) і потребують уточнення, особливо в умовах глобального потепління;

– не в повній мірі враховуються об'єми дощових вод в зонах затоплення міських територій.

Першочерговим завданням усунення зазначених недоліків є визначення нових підходів до проектування міських дощових систем каналізації на основі статистичних даних параметрів дощів та визначення основних впливових факторів і параметрів регулювання дощового стоку на міських територіях.

Основними статистичними даними, які характеризують параметри дощів в будь якому населеному пункті і фіксуються Державними гідрометеорологічними службами є:

– висота шару опадів за весь період кожного дощу h_d , мм;

– тривалість кожного дощу t_d , хв;

– тривалість міждощових періодів t_m , хв.

Аналіз статистичних даних метеорологічних станцій показує, що між зазначеними параметрами не існує кореляційного зв'язку (рис. 1). Однак існує певний зв'язок для окремих параметрів і з їх похідними величинами, які можуть бути співставлені із аналогічними показниками дощів для інших періодів і місцевостей (рис. 2). Таким показником є середня за шаром опадів інтенсивність дощу i , мм/хв

$$i = \frac{h_d}{t_d}. \quad (1)$$

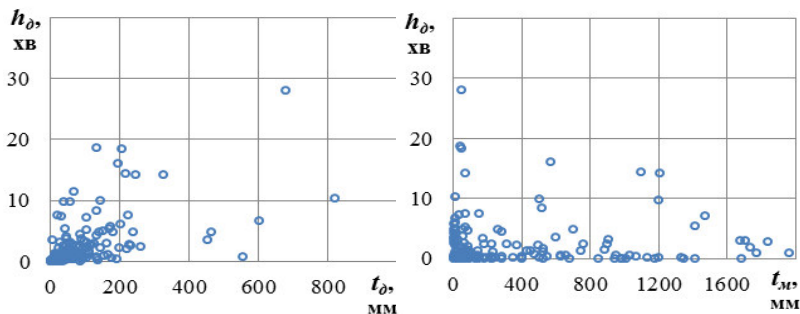


Рис. 1. Ілюстраційні графіки відсутності кореляційних залежностей між основними параметрами дощів (м. Рівне, 2012 рік)

Гранична обмежувальна лінія експериментальних даних 2 (рис. 2) відповідає виду загальноприйнятої залежності інтенсивності дощу за витратами q від тривалості дощу t_d [2]

$$q = \frac{a}{t_d^n}, \quad (2)$$

де n – показник степеня.

Величини інтенсивностей дощу за витратами q , л/с/га, і за шаром i , мм/хв, характеризують кількість опадів за одиницю часу в різних одиницях виміру і визначаються залежністю

$$q = 166,7 \cdot i. \quad (3)$$

Експериментальні точки середньої інтенсивності дощів в координатах t_d та i знаходяться в межах граничної обмежувальної лінії 2 (рис. 2), яка відповідає залежності

$$i = \frac{b}{t_d^p + k}, \quad (4)$$

де b , k і p – коефіцієнти і показник степеня, які залежать від параметрів опадів регіону (для м. Рівне за 2012 рік – $b = 21,7$; $k = 0,00001$; $p = 1,0$).

Крім цього на рис. 2 нанесено лінії граничної інтенсивності 4–10, які побудовано за нормативними даними [1, додаток А] для Рівненського регіону з різними величинами періодів одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P . Всі вони знаходяться в області параметрів дощу, що знаходиться за межами зазначених експериментальних даних, в тому числі в значній частині і дощів, що припадають на добу з максимальною кількістю опадів $h_{\text{доб.макс}} = 100$ мм [1, табл. А.9]. Їм відповідає лінія 3 при можливій тривалості дощу від 1 до 1440 хв (на графіку рис. 2 – $t_d = 25..1000$ хв).

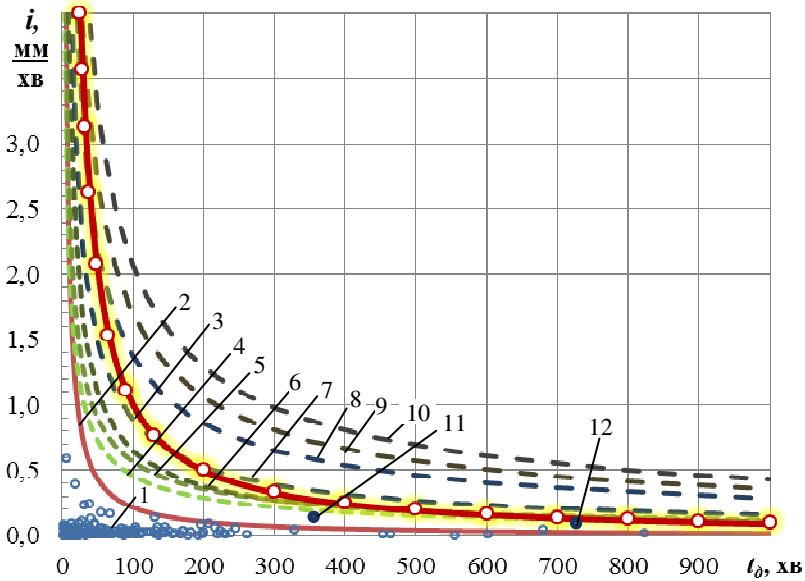


Рис. 2. Порівняльний графік залежності між середньою інтенсивністю дощів та їх тривалістю (для м. Рівне):

1 – експериментальні точки (м. Рівне, 2012 р.); **2** – гранична обмежувальна лінія експериментальних даних (формула 4); **3** – те ж, для максимальної кількості добових опадів [1, табл. А. 9]; **4...10** – те ж, для періодів одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу (за параметрами [1, додаток А]) P , відповідно: 1,0; 0,33; 2,0; 0,5; 5,0; 10 і 20; **11** – параметри найбільшого дощу, зафіксовані МС м. Дубно; **12** – те ж, МС м. Сарни

Для порівняння із наявними статистичними даними для м. Рівного максимальну добову кількість опадів ($h_d = 66$ мм; $i = 0,046$ мм/хв) зафіксовано 14 липня 1963 р., а максимальну річну (792 мм) – в 1974 р. [10]. Іншими метеорологічними станціями Рівненського регіону зафіксовано такі величини найбільших опадів [11]:

- 05.07.2007 року на МС м. Сарни за 41 годину випало 134 мм дощу ($h_d = 134$ мм; $t_d = 2460$ хв; $i = 0,054$ мм/хв);
- 25.07.2008 року за 12 годин на МС м. Сарни випало 64 мм дощу ($h_d = 64$ мм; $t_d = 720$ хв; $i = 0,089$ мм/хв);
- 06.07.2010 року на МС м. Дубно за 6 годин випало 53 мм опадів ($h_d = 53$ мм; $t_d = 360$ хв; $i = 0,147$ мм/хв).

Параметри цих дощів знаходяться вище лінії 2 (обмежувальної лінії за 2012 р.), але не перевищують граничної обмежувальної лінії макси-

мальної кількості добових опадів 3 (рис. 2). Разом з тим, інтенсивність сильних злив на Рівненщині не перевищує 1 мм/хв при їх тривалості в кілька десятків хвилин [10, 11], що повністю узгоджується із наведеними даними.

Аналіз даних наведених на рис. 2 показує, що розрахункові граничні інтенсивності дощу для різних періодів одноразового їх перевищення P знаходяться за межами як реально зафіксованих, так і максимально можливих, у Рівненському регіоні:

- для довготривалих дощів ($t_{\delta} > 700$ хв) при $P \geq 0,33$;
- для тривалих дощів ($t_{\delta} = 150..700$ хв) при $P \geq 2,0$;
- для дощів середньої тривалості ($t_{\delta} = 40..150$ хв) при $P \geq 5,0$;
- для дощів малої тривалості ($t_{\delta} = 20..40$ хв) при $P \geq 10,0$;
- для короткотривалих дощів ($t_{\delta} \leq 10$ хв) при $P \geq 20,0$.

Тому можна стверджувати, що лінії розрахункових граничних інтенсивностей дощів для періодів одноразового їх перевищення $P \geq 1,0$ знаходяться за межами реально можливих параметрів дощів для Рівненського регіону. Це, в свою чергу, потребує уточнень нормативних величин з визначення розрахункових витрат води на основі статистичного аналізу фактичних параметрів дощів регіону.

Визначення розрахункової інтенсивності дощу i_p доцільно проводити на основі їх розрахункових залежностей від ймовірнісних показників: ймовірності появи P або рівня забезпеченості P_o . Для цього проаналізовано взаємозв'язки між параметрами дощів, отриманими на основі статистичних даних.

На рис. 3 представлено ймовірність появи інтенсивності дощу за шаром i (матеріали АМСЦ м. Рівне за 2012 р.). Для цього масиви експериментальних даних інтенсивностей i та тривалості дощів t_{δ} відсортовано у порядку зростання за величинами i . На основі відсортованого масиву t_{δ} визначено ймовірність появи інтенсивності дощу, що перевищує j – те значення $i_j, P_{\bar{i},j}$

$$P_{\bar{i},j} = \frac{\sum_{i=1}^j t_{\delta,i}}{t_{\Sigma}}, \quad (5)$$

де t_{Σ} – сума тривалості всіх дощів (за весь період аналізу), хв.

Отримані експериментальні точки i_j та $P_{\bar{i},j}$ нанесено на рис. 3. Вони достатньо точно апроксимуються запропонованою залежністю

$$P_{\bar{u}} = \frac{i^{\chi} - \varepsilon}{i^{\chi} + \frac{\mu}{i^{\chi}}}, \quad (6)$$

де ε , μ і χ – коефіцієнти і показник степеня, що залежить від параметрів дощів для даного регіону і періоду (рис. 3).

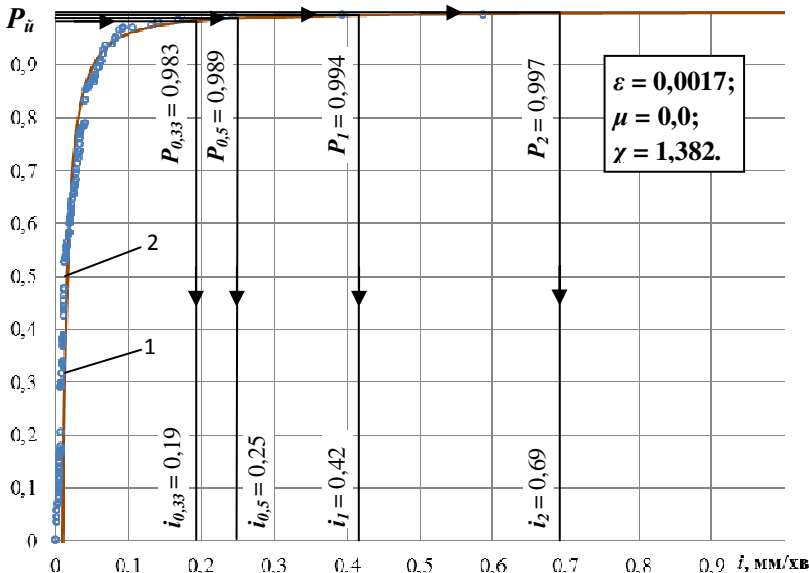


Рис. 3. Графік залежності між імовірністю дощів та їх інтенсивністю:
 1 – експериментальні точки (м. Рівне, 2012 р.);
 2 – лінія апроксимації (формула 6)

На рис. 3 нанесено вертикальні лінії, що ілюструють визначення розрахункових інтенсивностей дощів, ймовірність появи $P_{\bar{u}}$ яких відповідає періодам одноразового їх перевищення P . При цьому ймовірність перевищення $P_{\bar{u},p}$ розрахункової інтенсивності дощу визначалась за формулою

$$P_{\bar{u},p} = 1 - P_o = 1 - \frac{1}{m_r \cdot P}, \quad (7)$$

де P_o – забезпеченість розрахункової інтенсивності дощу; m_r – середня кількість дощів за рік [1, табл. А.1]; P – період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу.

При визначених величинах $P_{\bar{u},p}$ значення розрахункової інтенсив-

ності дощу i_p можна приймати за графіками залежності між ймовірністю дощів та їх інтенсивністю (рис. 3) або розраховувати за, отриманою на основі формули 6, залежністю

$$i_p = \left(\frac{\varepsilon - \sqrt{\varepsilon^2 - 4 \cdot (P_{\ddot{u},p} - 1) \cdot P_{\ddot{u},p} \cdot \mu}}{2 \cdot (P_{\ddot{u},p} - 1)} \right)^{1/\chi}, \quad (8)$$

де ε , μ і χ – ті ж параметри, що і у формулі 6.

При отриманому таким чином значенні розрахунковій інтенсивності дощу i_p та з урахуванням формул 2, 3 і А.1 [1, додаток А] розрахункові витрати дощових вод будуть визначатись за формулою

$$q_r = 166,7 \cdot Z_{mid} \cdot i_p \cdot F \cdot \eta \cdot m, \quad (9)$$

де F – забезпеченість розрахункової інтенсивності дощу; Z_{mid} – середнє значення коефіцієнта покрову, що характеризує поверхню басейну стоку [1, п. А. 7]; η – коефіцієнт, що враховує нерівномірність випадіння дощу на площі стоку [1, п. А. 4]; m – коефіцієнт, що враховує тривалість дощу [1, п. А. 1].

Отриманні залежності можуть бути використані для розрахунків та оптимізації об'ємів споруд з регулювання дощового стоку. При цьому загальні питомі об'єми дощових вод, що випадають на міську територію площею 1 га, м³/га, становитимуть

$$W_o = 10 \cdot i \cdot t_\delta = \frac{10 \cdot b \cdot t_\delta}{t_\delta^p + k}, \quad (10)$$

де 10 – перевідний коефіцієнт (мм в м та м² в га), м³/мм/га; i – інтенсивність дощу (формула 4), мм/хв.; t_δ – тривалість дощу, хв; b , k і p – коефіцієнти і показник степеня у формулі 4.

Дослідження залежності 10 на екстремуми показали, що вона має максимум при $p > 1,0$. При $p = 1,0$ із збільшенням тривалості дощу об'єм асимптотично наближується до сталої величини – $W_o = const$, а при $p < 1,0$ – не має максимуму (рис. 4).

Однак в межах розрахункової тривалості дощу ($t_\delta \approx 10..30$ хв) значення питомих об'ємів W_o відрізняються між в межах +2,9.. – 6,9%. Це означає, що незалежно від значень показника степеня p , який визначають за статистичними даними параметрів дощів конкретної місцевості, питомі об'єми W_o можна розраховувати за формулою 10 при розрахунковій інтенсивності дощу i_p (формула 8). В подальшому за величинами q_r і W_o проводять оптимізаційні розрахунки системи дощового водовідведення.

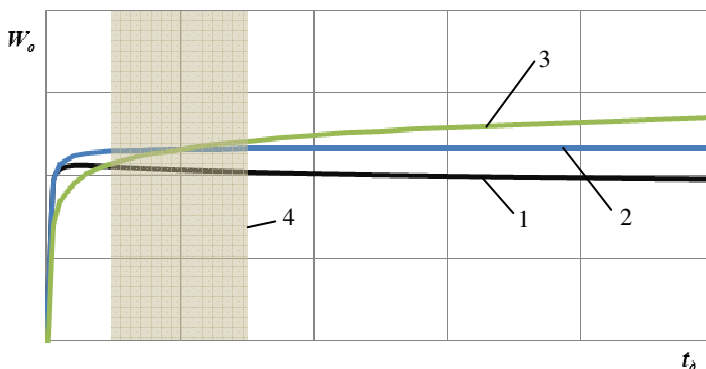


Рис. 4. Графік зміни питомого об'єму опадів W_0 від тривалості дощу t_d (формула 10): 1 – при $p > 1,0$; 2 – при $p = 1,0$; 3 – при $p < 1,0$; 4 – зона розрахункової тривалості дощу

Висновки. Чинні методики визначення розрахункових параметрів дощів не мають достатнього наукового обґрунтування, є громіздкими в розрахунках, базуються на «застарілих» даних і потребують уточнення. Розрахункові витрати і питомі об'єми дощових вод для регулювання їх стоку доцільно визначати на основі запропонованих ймовірнісних залежностей, що базуються на статистичних даних параметрів дощів конкретної місцевості.

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 207 с. 2. Алексеев М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие. / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. – М. : Изд-во АСВ: СПбГАСУ, 2000. – 352 с. 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. Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод. / Затверджені наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 23.12.2010, № 470. 5. Ткачук О. А., Сальчук В. Л. Проблеми регулювання стоку дощових вод при благоустрої міських територій // Науковий вісник будівництва. Вип. 72. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – С. 345–350. 6. Ткачук О. А., Сальчук В. Л., Олексіюк О. В. Оцінка причин затоплення каналізованих міських територій дощовими водами // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наук. пр. – Вип. 1 (65). – Рівне : НУВГП, 2014. – С. 344–350. 7. Rossman, L. A. Storm Water Management Model. Users Manual. Version 5.0 : EPA/600/R 05/040 / Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research

Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. – Cincinnati: [s. n.], 2007. – 265 p. **8.** Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. // UNESCO-WWAP 2006. – UNESCO, Berghahn Books. – 2006. – 601 p. **9.** Mays L. W. Storm water collection systems design handbook / McGraw-Hill Professional, 2001. – 1008 p. **10.** Клімат Рівного. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.meteoprog.ua/ua/climate/Rivne/>. **11.** Зміни клімату Рівненщини. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pogoda.rovno.ua/node/58>.

Рецензент: д.т.н., професор Гіроль М. М. (НУВГП, м. Рівне)

Tkachuk O. A., Doctor of Engineering, Professor, Salchuk V. L., Chief Engineer (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

NEW APPROACHES TO DEFINITION OF RAINFALL RUN-OFF DESIGN PARAMETERS REGULATED IN URBAN AREAS

The necessity of new approaches to design of urban storm sewer systems is described. The definitions to existing standards for regulation of rainwater in urban areas based on statistical dependencies of rain parameters are proposed.

Keywords: rain water, flooding areas, regulating the flow of rainwater.

Ткачук А. А., д.т.н., профессор, Сальчук В. Л., ведущий инженер (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТОКА ДОЖДЕВЫХ ВОД ПРИ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИИ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Обоснована необходимость новых подходов к проектированию городских систем дождевой канализации. Предложены уточнения к действующим нормативам по регулированию дождевого стока на городских территориях на основе статистических зависимостей параметров дождей.

Ключевые слова: дождевые воды, затопление территорий, регулирования стока дождевых вод.
