

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТА СТОКУ ДЛЯ МІСЬКИХ ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЇВ

Микола Ситніченко¹, Ганна Анацька²

¹ Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»,
35, Митрополита Василя Липківського вул., м. Київ, Україна, 03035,
^{1,2} Донбаська національна академія будівництва і архітектури
15, Карпатська вул., м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

¹ канд. техн. наук, sytnichenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3539-8525
² anazkaya935@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9695-5810

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.66-75

Анотація. У роботі проаналізована проблема визначення кількості поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення, та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод для чого використовують коефіцієнт стоку що відображає взаємозв'язок між водонепроникністю та стоком. Порівняння регресійних моделей, які використовуються для оцінки коефіцієнтів стоку, показали суттєву варіацію його значень по всьому діапазону загальної водонепроникної площі. Для вибірок згенерованих значень загального коефіцієнта стоку з відповідною часткою водонепроникності обчислені статистичні показники та побудовані коробкові діаграми. Отримані для умов м. Київ рівняння регресії загального коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту, які більш повно враховують інфільтраційний потенціал ґрунту та ступень вологості водозбору перед початком дощу.

Ключові слова: поверхневий стік, об'єм стоку, опади, коефіцієнт стоку, дощові води, гідрологія, система відведення поверхневих стічних вод.

ВСТУП

Проблема точності визначення об'єму поверхневих стічних вод, які утворились внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення на території площі стоку та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод, відома і залежить від методів, що зазвичай використовуються для характеристики трансформації опадів у стік, які неявно або явно враховують ступінь водонепроникності у межах водо-збірної площі. При визначенні кількості поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення, та надходять до систем відведення поверх-

невих стічних вод використовують загальний (річний) коефіцієнт стоку який відрізняється залежно від виду поверхні та визначається на підставі даних, наведених у пунктах 7.3 7.4 ДСТУ 3013-95 «Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств».

Взаємозв'язок між водонепроникністю та стоком на ділянці внаслідок створення водонепроникного покриття інтуїтивно зрозумілий і може бути виражений через коефіцієнт стоку, що коливається від нуля до одиниці та висловлює частку обсягу опадів, яка фактично перетворюється на кількість поверхневого стоку.

Регресійні моделі, які використовуються для оцінки, усереднених по ділянці, коефіцієнтів стоку (C) зазвичай є нетрансформованими моделями, що ґрунтуються на відсотку або частці загальної водо-непроникної площі у басейні (TIA) [1-7]. Найбільш

поширеними формулами є лінійні та поліномні (табл. 1).

Порівняння коефіцієнтів стоку, оцінених за допомогою різних рівнянь регресії, показує суттєві варіації по всьому діапазону загальної водонепроникної площі (рис. 1).

Табл.1. Регресійні моделі, які використовуються для визначення, усереднених по ділянці, коефіцієнтів стоку (C)

Table 1. Regression models used to determine plot-averaged runoff coefficients (C)

Автор	Формула
Barrett and others, 1998	Середній $C = 0,0125 + 0,5677 TIA + 0,3428 TIA^2$
Becciu and Paoletti, 2000	Середній $C = 0,08 + 0,49 TIA$ Стандартне відхилення $C = 0,03 + 0,2 TIA$
Driscoll and others, 1990b	Середній $C = 0,10 + 0,70 TIA$
Goforth and others, 1983	Середній $C = 0,15 + 0,75 TIA$
Granato and Cazenias, 2009	Середній $C = 0,08 + 0,67 TIA$
Schueler, 1987	Середній $C = 0,05 + 0,9 TIA$
Urbonas and Guo, 1989	Середній $C = 0,04 + 0,774 TIA - 0,780 TIA^2 + 0,858 TIA^3$

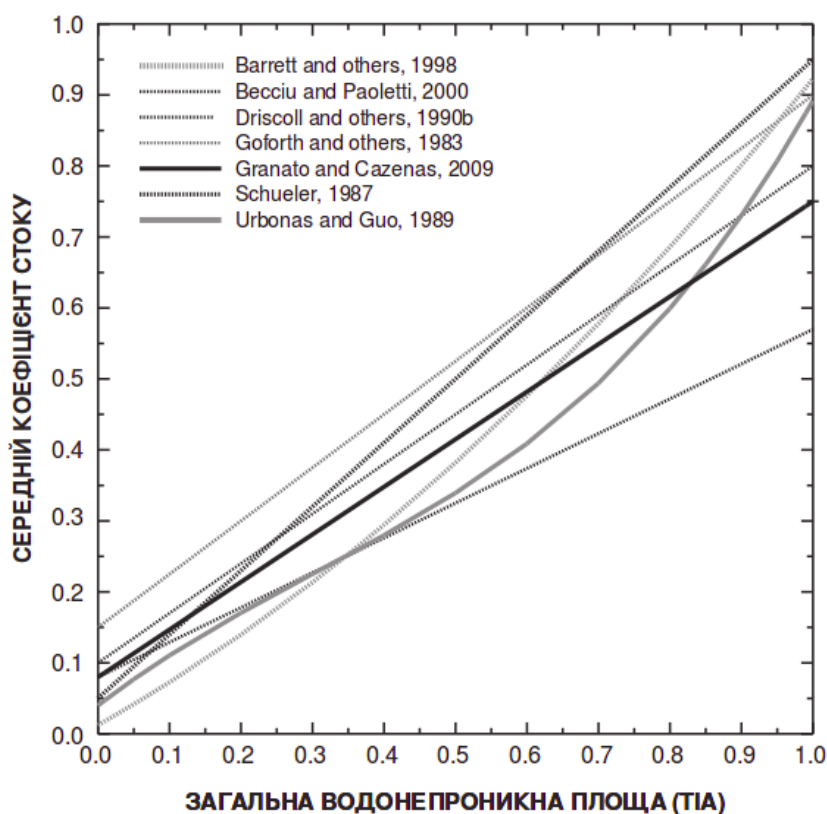


Рис. 1. Рівняння регресії для оцінки середніх коефіцієнтів стоку від частки загальної водонепроникної площі [1-7].

Fig. 1. Regression equation for estimating the average runoff coefficients from the share of the total waterproof area [1-7].

Для міських водозбірних басейнів Великобританії безрозмірний коефіцієнт стоку оцінують за допомогою так званого рівняння відсоткового стоку (PR) [8]:

$$C = \frac{PR}{100};$$

$$PR = 0,829 \cdot PIMP + 25,0 \cdot SOIL + 0,078 \cdot UCWI - 20,7, \text{ якщо } [PR > 0,4 \cdot PIMP];$$

$$PR = 0,4 \cdot PIMP, \text{ якщо } [PR \leq 0,4 \cdot PIMP],$$

де $PIMP$ – відсоток водонепроникної площі водозбору (25–100); $SOIL$ – індекс ґрунту для Великобританії (0,15–0,50); $UCWI$ – індекс вологості міського водозбору (попередній) (30–300).

Рівняння показує, що коефіцієнт стоку пов'язаний з водонепроникною площею, типом ґрунту та попередніми умовами вологості міського водозбору. Тож для його точного визначення потрібні значні знання водозбору.

Попри відмінності між наборами даних (розмірів басейну, характеристик землекористування, клімату та механізмів генерації стоку), вплив різних методів розділення основного потоку на обчислені обсяги стоку, відмінності в аналітичних методах та вихідних даних для регресійного аналізу ці моделі точно відображають взаємозв'язок між водонепроникністю покриву та коефіцієнтом стоку, за винятком низьких рівнів, де фактори типу ґрунту та ухилу стають важливішими.

В роботі [9] коефіцієнти стоку для окремих штормових подій були згруповані за інтервалами водонепроникної частки та обчислені статистичні показники відповідно до яких побудовані коробкові діаграми що наведені на рис. 2. Згруповані значення коефіцієнта стоку серед усіх ділянок зі збільшенням водонепроникної частки на 0,1 (діапазон 10 %), продемонстрували мінливість коефіцієнтів стоку у кожному інтервалі. Було встановлено що близько 52 % ділянок (і 69 % обраних дощів) пов'язані з часткою загальної водонепроникної площі, меншою або рівною 0,4.

Набори даних для водонепроникної частки 0,0, 0,05, 0,20, 0,50, 0,80, 0,95 та 1,0, представлені на рис. 3, були згенеровані на

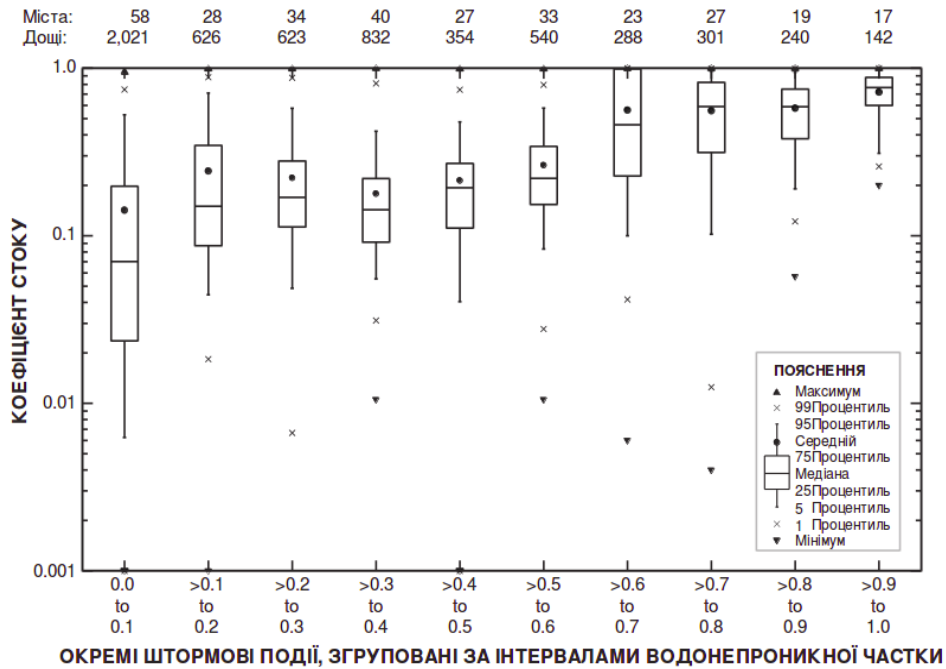
основі алгоритму Персона III типу та середніх значень, стандартних відхилень і коефіцієнтів асиметрії, оцінених з використанням рівнянь регресії, наведених в [10]. Вибірки з генерованих значень коефіцієнта стоку з часткою водонепроникності, меншою або рівною 0,50, мають позитивну асиметрію, симетричні з водонепроникною часткою 0,80, і негативно зміщені з водонепроникною часткою 0,95 і 1,0. Хоча значення коефіцієнта стоку обмежені нулем та одиницею для окремих подій опадів (жирні чорні лінії), шкала осі Y на рис. 3 варіюється від 0,2 до 1,2, щоб вказати частку значень, які будуть відхилені зі стохастично згенерованого набору даних. Ці набори даних вказують характеристики популяцій коефіцієнтів стоку, які ґрунтуються на водонепроникності басейнів вище за течією і можуть бути використані для аналізу опадів та стоку на неізольованих ділянках [9].

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даного завдання є більш точне визначення кількості поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення, та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод, шляхом вдосконалення рівняння регресії загального коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту, яке більш повно враховує інфільтраційний потенціал ґрунту та ступінь вологості водозбору перед початком дощу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Хоча коефіцієнт стоку є відношенням обсягу стоку до кількості опадів, загальна кількість опадів під час події виникнення дощу не гарно прогнозує зміни для коефіцієнта стоку оскільки з математичної думки коефіцієнти стоку, як очікується, матимуть сильну негативну рангову кореляцію із загальною кількістю опадів. На противагу коефіцієнти стоку з погляду гідрології матимуть сильну позитивну рангову кореляцію із загальною кількістю опадів що випадають під час дощу, оскільки



ОКРЕМІ ШТОРМОВІ ПОДІЇ, ЗГРУПОВАНІ ЗА ІНТЕРВАЛАМИ ВОДОНЕПРОНИКНОЇ ЧАСТКИ

Рис. 2. Коефіцієнти стоку, які менші або рівні 1,0 для окремих штормових подій, згрупованих за інтервалами водонепроникної частки [9]

Fig. 2. Runoff coefficients that are less than or equal to 1.0 for individual storm events grouped by impervious fraction intervals [9]

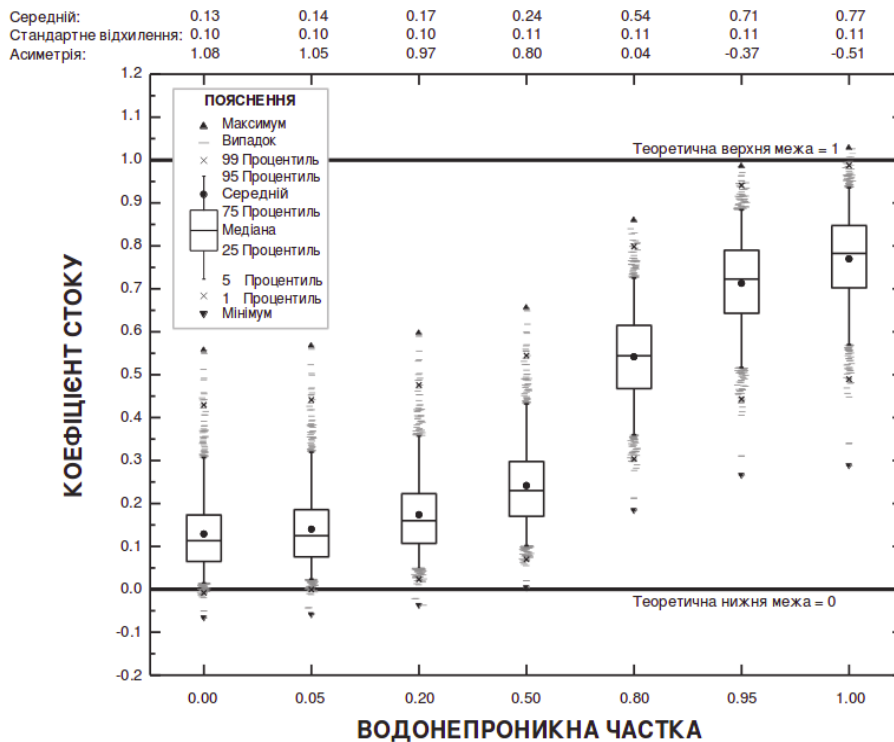


Рис. 3. Вибірки коефіцієнта стоку, що стохастично генеруються з використанням вибірових середніх значень, стандартних відхилень та коефіцієнтів асиметрії, оцінених з використанням рівнянь регресії водонепроникної частки [9]

Fig. 3. Runoff coefficient samples stochastically generated using sample means, standard deviations, and skewness coefficients estimated using impervious fraction regression equations [9]

збільшення кількості опадів, що триває, в кінцевому підсумку має перевищити початкові втрати і швидкість інфільтрації в ґрунт, що призведе до збільшення стоку для кожної додаткової кількості опадів.

Відповідно головний чинник що визначає загальний коефіцієнт стоку пов'язаний з типом поверхні яка характеризується водонепроникністю, типом ґрунту та попередніми умовами його вологості.

Використовуючи рівняння регресії для визначення параметра F/P який характеризує об'єм втрат від загальної кількості опадів залежно від властивостей поверхні, а саме водонепроникності й коефіцієнту фільтрації [11]. Розрахуємо коефіцієнт стоку який відповідно є одиниця мінус відношення загальних втрат опадів до загальної глибини опадів.

Моделювання параметра F/P , дозволяє згенерувати значення загального коефіцієнта стоку для умов м. Київ відповідно для водонепроникності з часткою 0,2, 0,4, 0,6,

0,8 та коефіцієнтом фільтрації 0,5, 1, 2, 4, 7, 12, 20 мм/год.

Для вибірок згенерованих значень загального коефіцієнта стоку з відповідною часткою водонепроникності обчислені статистичні показники відповідно до яких побудовані коробкові діаграми що наведені на рис. 4. Згруповані значення коефіцієнта стоку як і в випадку публікації [9] продемонстрували мінливість коефіцієнтів стоку для кожного значення водонепроникності.

Дескриптивна статистика вибірок загального коефіцієнта стоку для водонепроникності з часткою 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 у вигляді функцій статистичних характеристик зображених на рис. 5. Було встановлено що функції коефіцієнта стоку від статистичних показників середнього значення, стандартної помилки, медіани, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, асиметрії, мінімального та максимального значення апроксимуються лінійною регресійною формою.

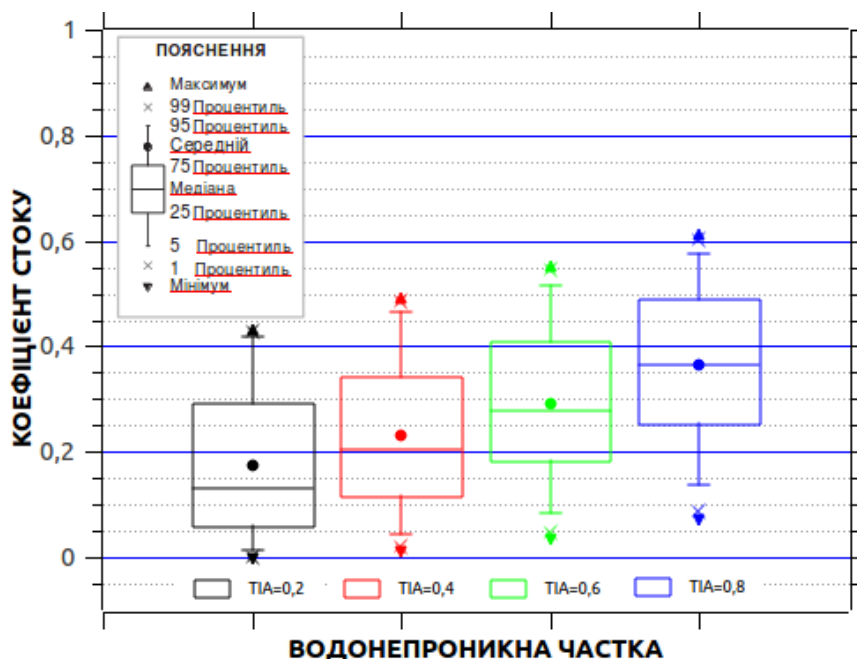


Рис. 4. Вибірки загального коефіцієнта стоку, що генеруються для водонепроникності з часткою 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 та коефіцієнтом фільтрації 0,5, 1, 2, 4, 7, 12, 20 мм/год, розраховані з використанням рівнянь регресії для визначення параметру F/P для умов м. Київ

Fig. 4. Samples of the total runoff coefficient generated for watertightness with a fraction of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and a filtration coefficient of 0.5, 1, 2, 4, 7, 12, 20 mm/h calculated from using regression equations to determine the F/P parameter for Kyiv conditions

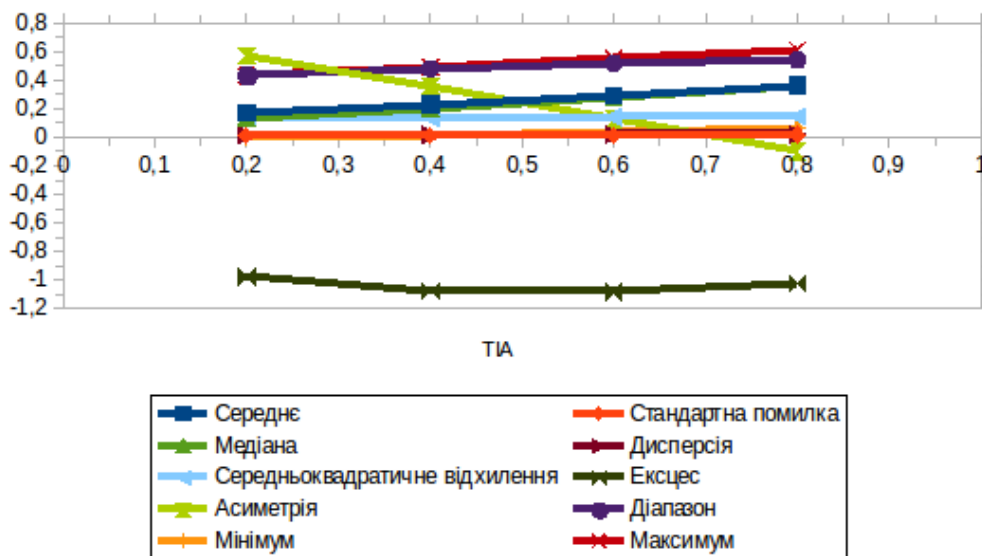


Рис. 5. Дескриптивна статистика вибірок загального коефіцієнта стоку для водонепроникності з часткою 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 у вигляді функцій статистичних характеристик для умов м. Київ.

Fig. 5. Descriptive statistics of samples of the general runoff coefficient for watertightness with a share of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 in the form of functions of statistical characteristics for the conditions of the city of Kyiv.

Регресійні моделі, які зазвичай використовуються для оцінки коефіцієнтів стоку пов'язують з загальною водонепроникною площею басейна лінійними формулами які є певним наближенням до реальних процесів, початкових втрат і швидкості інфільтрації в ґрунт, що відбуваються на території басейна під час випадіння атмосферних опадів.

Лінійна залежність буде спостерігатися в випадку коли загальна водонепроникна площа (TIA) буде дорівнювати ефективній водонепроникній площі (EIA) тобто водонепроникній площі у водозбірному басейні, яка безпосередньо з'єднана з руслами потоку.

Граничне значення ефективної водонепроникної площі визначає мінімальне та максимальне значення загального коефіцієнта стоку.

Використовуючи наведені висновки та згенеровані значення під час моделювання отримані ряди даних залежності загального коефіцієнта стоку від загальної водонепроникності площі водозбору при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту k для умов м. Київ які були апроксимовані ліній-

ною регресійною моделлю (див. рис. 6). Рівняння та коефіцієнти кореляції залежностей загального коефіцієнту стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту наведені в табл. 2.

Отримані рівняння показують, що загальний коефіцієнт стоку пов'язаний з загальною водонепроникною площею, коефіцієнтом фільтрації ґрунту k та попередніми умовами вологості міського водозбору, які враховуються емпіричним параметром s в формулі *Philip*, що пов'язаний зі швидкістю проникнення фронту змочування [11].

В загальному вигляді регресійна модель, яка використана для оцінки загального коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі визначається за формулою:

$$C = a \cdot TIA + b, \quad (1)$$

де C – загальний коефіцієнт стоку; TIA – частка загальної водонепроникної площі еквівалентної одиниці в десятковому форматі; a, b – емпіричні коефіцієнти які залежать від інфільтраційних властивостей поверхні.

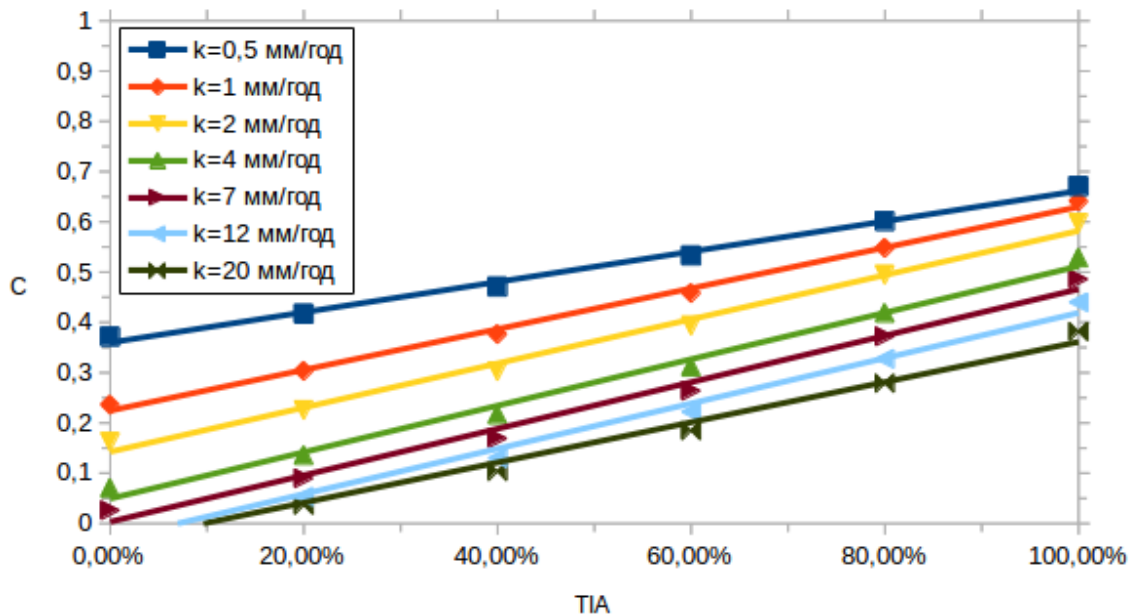


Рис. 6. Залежність загального коефіцієнту стоку від відсотка загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту k .

Fig. 6. Dependence of the total runoff coefficient on the percentage of the total waterproof area for the conditions of the city of Kyiv with the corresponding soil filtration coefficient k .

Табл.2. Рівняння та коефіцієнти кореляції залежностей загального коефіцієнту стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту k .

Table 2. Equations and correlation coefficients of the dependencies of the total runoff coefficient on the share of the total waterproof area for the conditions of the city of Kyiv with the corresponding soil filtration coefficient k .

k , мм/год	Формула	R^2
0,5	$C=0,302 \cdot TIA+0,36$	0,99
1	$C=0,406 \cdot TIA+0,224$	0,99
2	$C=0,439 \cdot TIA+0,143$	0,99
4	$C=0,462 \cdot TIA+0,049$	0,99
7	$C=0,463 \cdot TIA+0,003$	0,99
12	$C=0,451 \cdot TIA-0,031$	0,99
20	$C=0,4 \cdot TIA-0,039$	0,99

Якщо взяти рівняння *Schueler*, 1987 як використовують для оцінки усереднених по ділянці коефіцієнтів стоку $C = 0,9 \cdot TIA + 0,05$, і врахувати що максимальне значення загальної водонепроникної площі визначає максимальне значення загального коефіцієнта стоку як для умов м. Київ відповідно до рис. 6 буде дорівнювати приблизно 0,7.

В такому випадку коефіцієнт пропор-

ційності a і коефіцієнт b в лінійній регресивній моделі визначимо як добуток максимального значення коефіцієнта стоку 0,7 на емпіричні коефіцієнти в рівнянні *Schueler*, 1987.

Для умов м. Київ розрахуємо емпіричні коефіцієнти які залежать від інфільтраційних властивостей поверхні $a = 0,63$, $b = 0,035$.

Таким чином, для умов м. Київ формула

для визначення загального коефіцієнту стоку від частки загальної водонепроникної площі набуде вигляду:

$$C = 0,63 \cdot TIA + 0,035. \quad (2)$$

Порівняння цього рівняння регресії з рівняннями *Driscoll and others, 1990, Goforth and others, 1983, Granato and Cazenias, 2009*

для оцінки коефіцієнтів стоку від частки загальної водонепроникної площі наведено на рис. 7 та вказує що обчислені значення коефіцієнтів стоку незважаючи на свою спорідненість мають відмінності які визначаються впливом розмірів басейну, характеристик землекористування, клімату та механізмів генерації стоку.

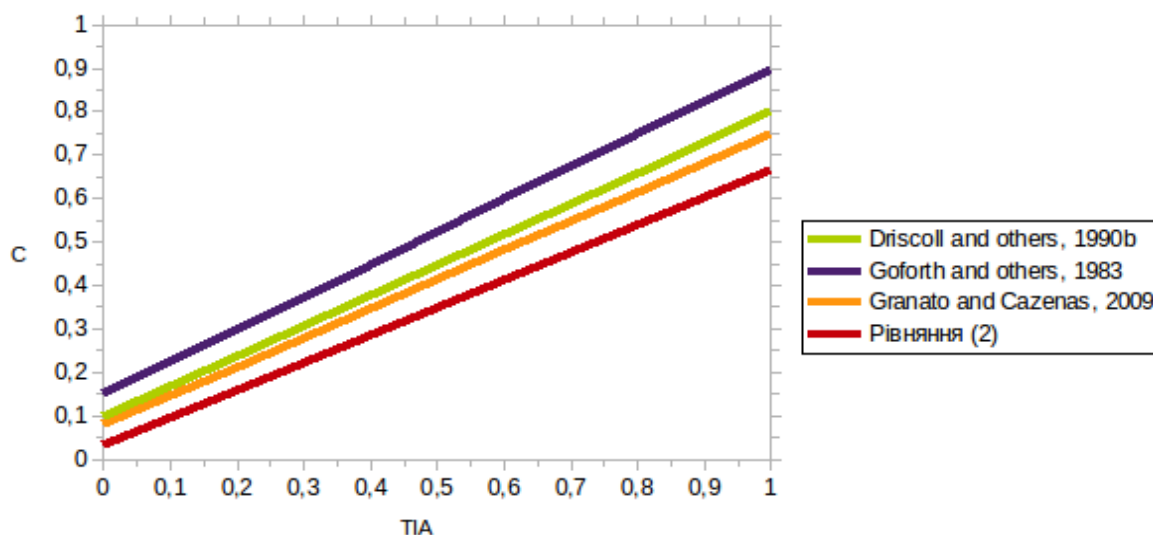


Рис. 7. Рівняння регресії для оцінки коефіцієнтів стоку від частки загальної водонепроникної площі.
Fig. 7. Regression equation for estimating runoff coefficients from the share of the total impervious area.

Основна відмінність між функціями що наведені на рис. 6 та рис. 7 полягає в врахуванні коефіцієнта фільтрації ґрунту та попередніх умов його вологості в залежностях зображених на рис. 6 при визначенні загального коефіцієнта стоку, що дозволить більш точно визначати коефіцієнт стоку на всьому діапазоні значень загальної водонепроникної площі.

Апроксимовані рівняння регресії загального коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту (табл. 2) більш повно враховують інфільтраційний потенціал ґрунту та ступень вологості водозбору перед початком дощу.

Для переднього визначення об'ємів поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод можна використовувати значення загального коефіцієнта стоку які розраховані відповідно до рівняння (2).

Отримані рівняння регресії загального

коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ при відповідному коефіцієнті фільтрації ґрунту надають можливість більш точно визначити кількість поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення, та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Змодельована для умов м. Київ дескриптивна статистика вибірок загального коефіцієнта стоку для водонепроникності з часткою 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 відповідно до якої побудовані коробкові діаграми та функції статистичних характеристик що зображені на рис. 4, 5.

2. Отримані рівняння регресії загального коефіцієнта стоку від частки загальної водонепроникної площі для умов м. Київ які більш повно враховують інфільтраційний потенціал ґрунту та ступень вологості

водозбору перед початком дощу, що надає можливість більш точно визначити кількість поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку внаслідок випадіння атмосферних опадів та сніготанення, та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод.

3. Рекомендується для переднього визначення об'ємів поверхневих стічних вод, які утворились на території площі стоку та надходять до систем відведення поверхневих стічних вод використовувати значення загального коефіцієнта стоку які розраховані відповідно до рівняння (2).

ЛІТЕРАТУРА

1. **Barrett M. E., Quenzer A. M., Maidment D. R.** Water quality and quantity inputs for the urban creeks future needs assessment // University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources Bureau of Engineering Research Report 1998, 98(10), 74 p.
2. **Becciu G., Paoletti A.** Moments of runoff coefficient and peak discharge estimation in urban catchments // *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, v. 5, no. 2, p. 197–205.
3. Driscoll E. D., Shelley P. E., Strecker E. W. Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff. Volume III – Analytical investigation and research report // Federal Highway Administration Final Report FHWA-RD-88-008, 1990, 160 p.
4. **Goforth G. F., Heaney J. P., Huber W. C.** Comparison of basin modeling techniques // *Journal of Environmental Engineering*, 1983, v. 109, no. 5, p. 1082–1098.
5. **Granato G. E., Czenas P. A.** Highway-Runoff Database (HRDB Version 1.0): A data warehouse and preprocessor for the stochastic empirical loading and dilution model // Washington, D.C., U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Natural and Human Environment, FHWA-HEP-09-004, 2009, 57 p.
6. **Schueler T. R.** Controlling urban runoff—A practical manual for planning and designing urban BMP's: Washington, D. C., Metropolitan Washington Council of Governments, Department of Environmental Programs, 1987, 275 p.
7. **Urbonas B., Guo J. C. Y.** Sizing a capture volume for stormwater quality enhancement: Denver, Colo.// *Urban Drainage and Flood Control District Flood Hazard News*, 1989, v. 19, no. 1, variously paged, available at

http://www.udfcd.org/downloads/pdf/tech_papers/SIZING%20A%20CAPTURE%20VOLUME%20-1989%20FHN.pdf

8. **DoE/NWC** Design and analysis of urban storm drainage: The Wallingford Procedure // Standing Technical Paper, 1983. No.28, 173p., National Water Council 173 p, ISBN 0 901090 27 1.
9. **Granato G. E.** Methods for development of planning-level estimates of stormflow at unmonitored sites in the conterminous United States: Federal Highway Administration report FHWA-HEP-09-005, 2010, 90 p., 1 CD-ROM.
10. **Granato G. E.** Kendall-Theil Robust Line (KTRLLine-version 1.0) – A Visual Basic program for calculating and graphing robust nonparametric estimates of linear-regression coefficients between two continuous variables // *Techniques and Methods of the U.S. Geological Survey*, book 4, chap. A7, 2006, 31 p.
11. **Ситніченко М., Анацька Г.** Моделювання об'єму стоку поверхневих стічних вод на прикладі міста Київ // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 2023, (45), 71–77. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.71-77>

REFERENCES

1. **Barrett, M. E., Quenzer, A. M., & Maidment, D. R. (1998).** Water quality and quantity inputs for the urban creeks future needs assessment: University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources Bureau of Engineering Research Report 98–10, 74 p.
2. **Becciu, G., & Paoletti, A. (2000).** Moments of runoff coefficient and peak discharge estimation in urban catchments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 5(2). 197–205. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2000\)5:2\(197\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2000)5:2(197))
3. **Driscoll, E. D., Shelley, P. E., & Strecker, E. W. (1990).** Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff, Volume III—Analytical investigation and research report: *Federal Highway Administration Final Report FHWA-RD-88-008*.
4. **Goforth, G. F., Heaney, J. P., & Huber, W. C. (1983).** Comparison of basin modeling techniques. *Journal of Environmental Engineering*, 109(5). 1082–1098. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(1983\)109:5\(1082\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(1983)109:5(1082))
5. **Granato G. E., & Czenas, P. A. (2009).** *Highway-Runoff Database (HRDB Version 1.0): A data warehouse and preprocessor for the stochastic empirical loading and dilution model*: Washington, D.C., U.S. Department of Transportation, Federal

Highway Administration, Office of Natural and Human Environment, FHWA-HEP-09-004. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/268034354_Highway-Runoff_Database_HRDB_Version_10--A_data_warehouse_and_preprocessor_for_the_stochastic_empirical_loading_and_dilution_model

6. **Schueler, T. R. (1987).** *Controlling urban runoff – A practical manual for planning and designing urban BMP's.* Washington, D.C., Metropolitan Washington Council of Governments, Department of Environmental Programs.

7. **Urbonas, B., & Guo, J. C. Y. (1989).** Sizing a capture volume for stormwater quality enhancement: Denver, Colo., *Urban Drainage and Flood Control District Flood Hazard News*, 19(1), variously paged, available at

http://www.udfcd.org/downloads/pdf/tech_papers/SIZING%20A%20CAPTURE%20VOLUME%20-1989%20FHN.pdf

8. **DoE/NWC, (1983).** Design and analysis of urban storm drainage. *The Wallingford Procedure. Standing Technical Paper*, 28. National Water Council, ISBN 0 901090 27 1.

9. **Granato, G. E. (2010).** Methods for development of planning-level estimates of stormflow at unmonitored sites in the conterminous United States: Federal Highway Administration report FHWA-HEP-09-005. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/268034350_Methods_for_development_of_planning-level_estimates_of_stormflow_at_unmonitored_sites_in_the_conterminous_United_States

10. **Granato, G. E. (2006).** Kendall-Theil Robust Line (KTRLLine-version 1.0) – A Visual Basic program for calculating and graphing robust nonparametric estimates of linear-regression coefficients between two continuous variables: *Techniques and Methods.*

<https://doi.org/10.3133/tm4a7>

11. **Sytnichenko, M., & Anatska, G. (2023).** Simulation of the volume of surface wastewater flow on examples of the city of Kyiv. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, (45), 71–77.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.71-77>

Using the exponential distribution as a synthetic curve volume of runoff to determine the volume of surface runoff

Mykola Sytnichenko, Hanna Anatska

Annotation. The paper analyzes the problem of determining the amount of surface wastewater that has formed on the territory of the drainage area as a result of precipitation and snowmelt, and enters the surface sewage disposal systems, for which the flow coefficient is used, which reflects the relationship between waterproofness and flow. Comparison of regression models used to estimate runoff coefficients showed a significant variation of its values over the entire range of the total impervious area. For the samples of the generated values of the total runoff coefficient with the corresponding proportion of waterproofness, statistical indicators were calculated and box diagrams were constructed. Regression equations of the total runoff coefficient from the share of the total impervious area with the corresponding soil filtration coefficient were obtained for the conditions of Kyiv, which more fully take into account the infiltration potential of the soil and the moisture level of the catchment before the rain starts.

Key words: surface runoff, runoff volume, precipitation, runoff coefficient, rainwater, hydrology, system of removal of surface wastewater.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2024