

УДК 628.241:532.543

**ВРАХУВАННЯ НАПІРНОГО РЕЖИМУ У МЕРЕЖАХ  
ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ ДО СПОРУД  
РЕГУЛЮВАННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ**

**CONSIDERATION OF PRESSURE HEAD OPERATION IN  
WATER DISPOSAL NETWORKS BY CONNECTED THEM TO  
THE CONSTRUCTION OF STORMWATER REGULATION**

**Ярута Я.В., аспірант, Шевчук О.В. к.т.н., асистент, Ткачук О.А.,  
д.т.н., проф. (НУВГП, м. Рівне)**

**Yaruta Y.V., Post-graduate Student, Shevchuk O.V., Ph.D., assistant  
Tkachuk O.A., Doctor of engineering, professor, (National University of  
Water Management and Environmental Engineering, Rivne)**

Визначено, що однією з причин, які призводять до затоплень і підтоплень міських територій дощовими водами є недосконалість мереж дощового водовідведення. Отримано степеневу формулу з визначення гідравлічних уклонів. Запропоновано залежність для розрахунку коефіцієнта, що враховує наповнення трубопроводу.

The basic problems of stormwater flow from urban areas are discussed. One of the reasons of stormwater inundation and flooding of urban areas is estimated because of imperfections in the storm sewerage network. This requires improvements and optimization of hydraulic calculations of all storm sewerage networks, taking into account pressure head operation of mode sections. Their improvement requires analysis of the compatible operation of different sections of the network between themselves and with the stormwater regulated constructions that are connected to the networks of the wastewater sewerage system. The type formulas for these calculations and numerical values of their parameters are estimated. Optimization and hydraulic calculations based on the proposed formula and numerical parameters obtained for this formula are justified.

Ключові слова: водовідведення, сумісна робота, напірний режим, інфільтраційні басейни.

Keywords: stormwater disposal, compatible operation, pressure head operation, infiltration pools.

Проблема підтоплень та затоплень міських територій надзвичайно гостро потребує вирішення як у містах України, так і закордоном. Інтенсивні зміни у благоустрої міських територій призводять до постійного збільшення часток територій із водонепроникними покриттями, а отже, збільшення об'єму дощового стоку, що формується в понижених місцях міських територій, їх підтоплення та погіршення санітарного стану [1]. За чинними в Україні нормативами міські системи дощового водовідведення проектують з розрахунку максимально швидкого відведення найбільших витрат дощових стоків, що утворюються на територіях населених пунктів [2], без врахування сумісної роботи всіх споруд цих систем.

Практика показує, що підтоплення можуть виникати навіть тоді, коли справно функціонує система дощового водовідведення, але міська територія має складний рельєф [3]. В багатьох випадках при дощах великої інтенсивності, коли мережі працюють у напірному режимі, затоплення територій здійснюється через дощоприймальні та оглядові колодязі [4]. Зношуваність споруд та мереж водовідведення або їх незадовільний стан – тільки ускладнюють проблему і в останні роки набувають значного поширення.

Аналіз останніх досліджень показує, що вирішення проблем затоплення і підтоплення потребує уточнення методів формування дощового стоку, гідравлічних розрахунків та систем зливого водовідведення. Удосконалення гідравлічних розрахунків таких систем у напірному режимі дозволить враховувати їх сумісну роботу із різними регульовальними спорудами, серед яких інфільтраційні басейни. Дані споруди дозволяють затримувати дощові опади безпосередньо у місцях випадання, поступово дреноуючи їх у систему водовідведення.

Вивченням питань руху води в напірних і безнапірних колекторах займалось багато провідних вчених. Найбільшого поширення отримали роботи С. Шезі, А. Дарсі, Ю. Вейсбаха, М.М. Павловського, Л. Прандтля, І. Нікурадзе, Ф. Кольбука, А.Д. Альтшуля, М.Ф. Федорова, Ю.М. Константинова та багатьох інших [4-9].

Однак у даних роботах недостатньо обґрунтована допустимість напірного режиму в колекторах [2] при гідравлічних розрахунках міських систем дощового водовідведення. Чинні методики розрахунків дощових мереж [4-7] не передбачають врахування сумісної роботи всіх ділянок по довжині водовідвідного колектора.

Метою даної статті є обґрунтування врахування напірного режиму у мережах водовідведення при підключенні до споруд регулювання дощового стоку та коефіцієнта наповнення трубопроводу при цьому режимі.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз існуючих гідравлічних розрахунків трубопроводів водовідведення та отримано відповідні оптимізаційні розрахунки. При цьому було використано теоретичні методи досліджень із застосуванням математичного аналізу.

При гідравлічних розрахунках мереж водовідведення важливим є визначення не тільки витрат і швидкостей води залежно від уклонів колекторів, але й п'єзометричних позначок у вузлах, особливо, при напірному русі води. Це необхідно для аналізу сумісної роботи ділянок мережі, оптимізації окремих її параметрів, визначення можливих зон затоплення міських територій тощо.

Але, напірний режим роботи мережі враховують тільки для окремо взятої ділянки, при плоскому рельєфі та відповідному початковому заглиблені. При цьому не враховують сумісну роботу всіх ділянок колектора. В багатьох випадках це призводить до утворення напірного режиму на кількох ділянках колектора, підняття рівня води в колодязях вище поверхні землі і до затоплення міської території (рис.1) [10].

Для практичних розрахунків мереж водовідведення найчастіше застосовують напівемпіричні та емпіричні залежності, які базуються на формулах Шезі (1) та Дарсі (2) [4-9].

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}; \quad (1)$$

$$I = \frac{\lambda}{4 \cdot R} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (2)$$

де  $V$  – середня швидкість руху стічних вод, м/с;  $C$  – коефіцієнт Шезі, що залежить від гідравлічного радіуса  $R$  та шорсткості змоченої поверхні колекторів;  $I$  – гідравлічний уклон;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі);  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

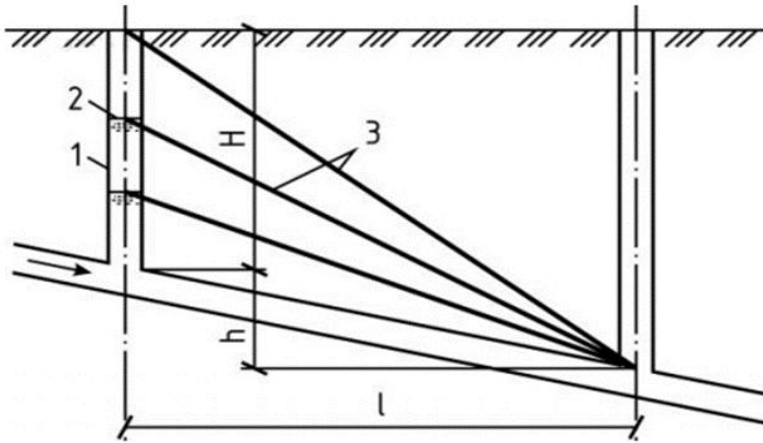


Рис. 1. Схема ділянки дощової мережі при напірному режимі роботи  
1 – оглядовий колодязь; 2 – рівень води; 3 – п'єзометричні лінії.

Для визначення параметрів  $C$  і  $\lambda$  запропоновано ряд емпіричних залежностей і рекомендацій, які визначають на основі формул Павловського М.М. та Федорова М.Ф., що є базовими національних стандартів. Розрахунки параметрів колекторів, які працюють в безнапірному та напірному режимах, за існуючими формулами є громіздкими, не придатними для оптимізаційного аналізу і тому потребують уточнення [10].

Найбільш доцільними є використання простої степеневі залежності (3), яку застосовують для розрахунків напірних трубопроводів [5, 7]:

$$I = k \cdot \frac{q^\beta}{d^m}, \text{ або } I = k_v \cdot \frac{V^\beta}{d^p}, \quad (3)$$

де  $k$ ,  $\beta$  та  $m$  – коефіцієнт та показники степеня, які залежать від шорсткості внутрішньої поверхні труб, яка в свою чергу залежить від матеріалу труб, кількості та типу відкладень на стінках тощо;  $q$  – розрахункові витрати води, м<sup>3</sup>/с, або л/с;  $d$  – розрахунковий внутрішній діаметр або інший розмір колектора, м, або мм;  $k_v$  та  $p$  – аналоги коефіцієнта  $k$  та показника степеня  $m$  при переведенні характеристики потоку з витрати  $q$  на середню швидкість потоку  $V$ .

Величини  $k_v$ ,  $\beta$  та  $p$  визначали шляхом апроксимації числових даних масиву гідравлічних уклонів  $I$ . Методом найменших

квадратів для широкого діапазону вхідних параметрів, що мають практичне значення було отримано такі величини:  $k_v = 0,001285$ ;  $\beta = 1,96$ ;  $p = 1,31$ . Відповідно для розрахунків за формулою 3 величини аналогічних параметрів становлять:  $k = 0,002063$ ;  $\beta = 1,96$ ;  $m = 5,23$  [10].

Для гідравлічних розрахунків трубопроводів при безнапірному русі стічних вод у формулі (3) значення діаметра труби записано через її гідравлічний радіус  $R$  ( $d = 4 \cdot R$ ), а його – через наповнення трубопроводу  $h/d$ , використовуючи відомі залежності між наповненням труби  $h/d$ , центральним кутом сегменту наповнення труби  $\alpha$ , виміряного у радіанах, площею наповнення  $\omega$  і змоченим периметром  $\chi$ :

$$I = \frac{k_v \cdot V^\beta}{(4 \cdot R)^p} = \frac{k_v}{4^p} \cdot \frac{\left(\frac{q}{\omega}\right)^\beta}{\left(\frac{d}{4}\right)^p \cdot \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^p} = \dots = k_v \cdot \frac{q^\beta}{d^{2\beta+p}} \cdot \frac{8^\beta \cdot \alpha^p}{(\alpha - \sin \alpha)^{\beta+p}}. \quad (4)$$

Виходячи із формул (3) і (4) можна записати:

$$I = k \cdot \frac{q^\beta}{d^m} \cdot k_{h/d}, \quad (5)$$

де  $kh/d$  – коефіцієнт, що залежить від наповнення трубопроводу:

$$k_{h/d} = \frac{(2\pi)^\beta \cdot \alpha^p}{(\alpha - \sin \alpha)^{\beta+p}}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – центральний кут сегменту наповнення, який залежить від наповнення  $h/d$  трубопроводу, рад.

Для напірного режиму у формулі 5 використано коефіцієнт  $kh/d$ , який при  $h = d$  рівний одиниці (кут  $\alpha = 2\pi$  ( $360^\circ$ ),  $\sin 360^\circ = 0$ ). При  $h/d < 1$ , а отже і  $\alpha < 2\pi$  ( $360^\circ$ ), – коефіцієнт  $kh/d > 1,0$  (рис. 2).

Розрахунки за формулами (5 і 6) показують, що залежність  $kh/d = f(h/d)$  має мінімум при  $h/d = 0,938$ . На основі значних експериментальних даних рекомендовано значення коефіцієнтів впливу гідродинамічних характеристик потоку  $K_{гд}$ , які слід враховувати для визначення витрат води при гідравлічних розрахунках трубопроводів. Залежно від наповнення  $h/d$  ці коефіцієнти становлять  $K_{гд} = 0,88-1,0$  [9, табл. 4].

Отримано, що з врахуванням коефіцієнта  $K_{hd}$  залежність коефіцієнтів  $kh/d$  від наповнення трубопроводу  $h/d$  буде визначатись за формулою:

$$k_{h/d} = 0.74 + 0.26 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-3.92} \quad (7)$$

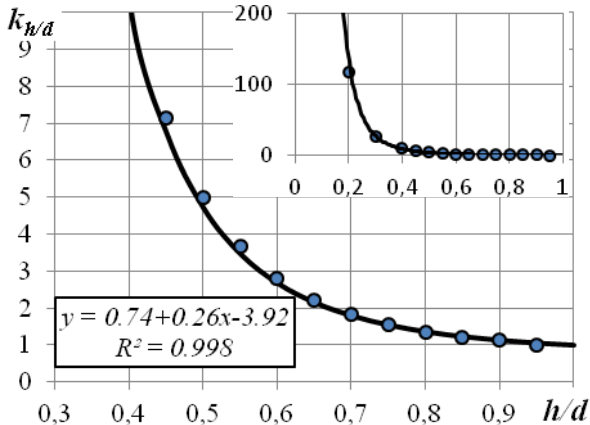


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів  $kh/d$  від наповнення трубопроводу  $h/d$  з урахуванням впливу гідродинамічних характеристик потоку

Перевірка формули (7) на граничні умови показує, що при  $h/d \rightarrow 0 - kh/d \rightarrow \infty$ , а при  $h/d = 1 - kh/d = 1,0$ , що відповідає сучасним уявленням про природу гідродинамічних потоків у безнапірних трубопроводах [7, 9].

Отримані розрахунки за формулою (5) і еталонними формулами [2] при різних наповненнях трубопроводів є співрозмірними з точністю розрахунків напірних трубопроводів. Тому, формула (5) може бути рекомендована для гідравлічних розрахунків руху стічних вод, як у напірному, так і безнапірному режимах.

Однією з причин, що призводять до затоплень і підтоплень міських територій дощовими водами, є недосконалість мереж та споруд водовідведення, що пов'язано з неточністю гідравлічних розрахунків, зокрема, неврахування напірного режиму. Їх удосконалення потребує аналізу сумісної роботи різних ділянок мережі між собою та із регульовальними спорудами, підключеними

до мереж системи водовідведення. Для проведення як гідравлічних, так і оптимізаційних розрахунків, визначено тип формули (3) та числові значення коефіцієнта і показників степеня уточненої формули (5), а також запропоновано залежність (7) для розрахунку коефіцієнта, що враховує наповнення трубопроводу.

1. Ткачук О. А. Інфільтраційні майданчики як сучасний метод регулювання дощового стоку при благоустрої міських територій / О. А. Ткачук, О. В. Шевчук. Науково-технічний збірник «Містобудування та територіальне планування». К. : КНУБА, 2016. Вип. 59. С. 437–442.

2. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013. К.: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2013. 211 с.

3. Звіт про НДР. Проведення досліджень щодо пропускної спроможності систем поверхневого водовідведення в сучасних природних умовах. Х.: ДЦК УкрВОДГЕО, 2013. 60 с.

4. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация: учеб. для по спец. "Водоснабжение и канализация". М.: Книга по Требованию, 2012. 633 с.

5. Mays L.W. Storm water collection systems design hand book / L.W. Mays. McGraw-Hill Professional, 2001. 1008 p.

6. Rossman, L. A. Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5.0 : EPA/600/R 05/040 / L. A. Rossman; Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati: [s. n.], 2007. 265 p.

7. Константинов Ю.М., Гижа О.О. Інженерна гідравліка. К.: Видавничий дім «Слово», 2006. 432 с.

8. Лукиных А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / А.А. Лукиных, М.А. Лукиных. М.: Стройиздат, 1987. 159 с.

9. Константинов Ю.М., Гидравлический расчет сетей водоотведения. Расчетные таблицы / Ю.М. Константинов, А.А. Василенко, А.А. Сапунин, Б.Ф. Батченко. К.: Будівельник, 1987. 120с.

10. Ткачук О. А., Ярута Я.В., Шумінський В.Д. Обґрунтування формул та їх параметрів для оптимізаційних розрахунків мереж дощового водовідведення / О. А. Ткачук, Я.В. Ярута, В.Д. Шумінський // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип. 4(76). – С. 259 – 267.