

НОВІ ПІДХОДИ ДО ГІДРАВЛІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ТРУБОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ СПРОЩЕНИХ ФОРМУЛ

Олександр Ткачук¹, Ольга Шевчук²

Національний університет водного господарства та природокористування
11, Соборна вул., м. Рівне, Україна, 33028

¹докт. техн. наук, o.a.tkachuk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-3036-0010

²канд. техн. наук, o.v.shevchuk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7403-8314

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.40.44-58

Анотація. Визначено доцільність та граничні умови проведення гідравлічних розрахунків трубопроводів водовідведення за спрощеними степеневими формулами. Проаналізовано основні взаємозв'язки між конструктивними і кінематичними параметрами трубопроводів водовідведення при виконанні їхніх гідравлічних розрахунків за спрощеними формулами. Отримано числові значення коефіцієнтів та показників степенів у спрощених формулах для трубопроводів із різних матеріалів. Встановлено, що для всіх типів міського водовідведення (господарсько-побутового, дощового і загальносплавного), значення мінімально допустимих ухилів трубопроводів практично співпадають, залежать тільки від їхніх діаметрів і можуть бути розраховані за отриманою емпіричною формулою із рекомендованими числовими значеннями її параметрів для труб різних матеріалів. Визначено гранично допустимі мінімальні та максимальні ухили, а також відповідні їм максимальні витрати стічних вод для трубопроводів різних діаметрів і матеріалів. Нові підходи до гідравлічних розрахунків мереж водовідведення передбачають їхнє виконання за єдиною методикою на основі запропонованих спрощених формул, застосування отриманих емпіричних залежностей для визначення мінімально і максимально допустимих ухилів та відповідних їм максимальних граничних витрат стічних вод і діаметрів труб. Розглянуто алгоритм уніфікації гідравлічних розрахунків при вирішенні оптимізаційної задачі. Показано ефективність застосування спрощених степеневих формул гідравлічних розрахунків та отриманих на їхній основі емпіричних залежностей. Встановлено, що проведення гідравлічних розрахунків трубопроводів водовідведення за спрощеними степеневими формулами дозволяє не тільки спростити самі розрахунки, але й отримати на їхній основі додаткові залежності між конструктивними параметрами трубопроводів.

Ключові слова: гідравлічні розрахунки, колектори, трубопроводи, водовідведення.

ВСТУП

Гідравлічні розрахунки мереж водовідведення населених пунктів є основою для визначення їхніх конструктивних (діаметрів, ухилів та глибин закладання труб) та кінематичних параметрів (середніх швидкостей, наповнення тощо). Залежно від поставлених цілей гідравлічні розрахунки вирішують одну із задач [4, 6]: *оптимізаційну* – визначення придатних конструктивних

параметрів за умови дотримання нормативних обмежень щодо їхніх величин і кінематичних параметрів потоків, які обумовлені чинними нормативами, зокрема, ДБН В.2.5-75; *перевірочну* – визначення кінематичних параметрів та їхньої відповідності нормативам при відомих конструктивних параметрах. Вирішення кожної із цих задач, особливо оптимізаційної, потребують багатофакторного аналізу гідравлічно взаємозв'язаних параметрів мережі водовідведення, які

залежать від її розрахункової схеми, конструктивних параметрів, стану внутрішньої поверхні труб, зміни їхньої шорсткості у процесі експлуатації, в'язкості стічних вод, яка, у свою чергу, залежить від температури і фізико-хімічного складу вод тощо.

Закономірностям руху води у трубопроводах присвячено багато наукових праць провідних вчених [1-5], за результатами досліджень яких запропоновано ряд формул для гідравлічних розрахунків трубопроводів. Для мереж водовідведення найбільше поширення отримали формули Кольбука-Уайта, А. Шезі, М.М. Федорова та інших авторів [2, 4, 6, 9, 20]. Вони встановлюють залежність одних параметрів від інших (зокрема, коефіцієнта гідравлічного тертя від числа Рейнольдса та еквівалентної шорсткості труб) і є достатньо точними для розрахунків у визначених умовах функціонування (тип і величина шорсткості, температура і каламутність води тощо). Однак, більшість формул є достатньо складними, багаточленними і, навіть, задані у неявному вигляді (формула Кольбука-Уайта, яка має значне поширення у країнах ЄС та Америки). Їхнє застосування суттєво ускладнює розрахунки, особливо, оптимізаційні. Багатофакторний аналіз показав [4, 6, 9, 16], що конструктивні параметри (величини шорсткості, овальність, осад на стінках труб, наявність місцевих опорів тощо) змінюються навіть по довжині однієї ділянки мережі, що суттєво впливає на точність кінцевих розрахунків. Висока точність відомих формул не тільки не відповідає точності кінцевих результатів, але й суттєво ускладнює розрахунки. Особливо це відчутно, коли потрібно визначити окремі параметри від інших, наприклад, наповнення при заданих витратах води, діаметрі та ухилі труб. До недавнього часу для цього застосовували таблиці [3, 5, 9, 16], а нині комп'ютери, для яких потрібне спеціальне програмне забезпечення, яке, будучи створеним на відомих залежностях, зазвичай, є вузько орієнтованим і малоприслужним для оптимізаційних розрахунків мереж водовідведення.

Зазначені недоліки відсутні при застосуванні спрощених степеневих формул виду [6, 6, 18]

$$I_p = k \cdot \frac{q^\beta}{d^m} \cdot k_{h/d}, \quad (1)$$

де k , β і m – коефіцієнт та показники степеню, що залежать від шорсткості внутрішньої поверхні труб, яку обумовлюють матеріал труб, кількість відкладень на їхніх стінках тощо;

q – розрахункові витрати води, м³/с (л/с);

d – внутрішній діаметр труб, м;

$k_{h/d}$ – коефіцієнт, що залежать від наповнення трубопроводу, який визначають за формулою

$$k_{h/d} = a + b \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^\varepsilon, \quad (2)$$

де a , b і ε – коефіцієнти і показник степеню, що залежать від матеріалу труб;

h/d – наповнення труби.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою роботи є визначити граничні умови проведення гідравлічних розрахунків трубопроводів водовідведення за степеневими формулами (1) і (2), обґрунтувати числові значення коефіцієнтів та показників степенів у спрощених формулах для трубопроводів із різних матеріалів, проаналізувати основні взаємозв'язки між конструктивними і кінематичними параметрами трубопроводів водовідведення і на їхній основі визначити нові підходи до гідравлічних розрахунків мереж водовідведення із подальшою їх уніфікацією.

Критерієм оцінювання числових значень коефіцієнтів і показників степенів у спрощених формулах є максимальна їхня наближеність (за коефіцієнтами детермінації R^2 [22]) до відомих «точних» формул, а саме

$$I = \lambda \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{V^2}{8g}, \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

R – гідравлічний радіус, м;

V – середня швидкість руху води у живому перерізі труби, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Для коефіцієнта λ прийнято формули, які згідно напівемпіричної теорії

турбулентного руху рідин і газів у трубопроводах характеризують перехідну область гідравлічного опору [2, 6, 4, 21] і рекомендовані чинними нормативами для труб:

- бетонних, залізобетонних, керамічних, чавунних, сталевих та азбестоцементних (ДБН В.2.5-75)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{a_2}{Re} + \frac{\Delta_e}{13,68 \cdot R} \right); \quad (4)$$

- пластикових (ДСТУ НБ В.2.5-40)

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5}{\lg \left(\frac{14,8 \cdot R}{\Delta_e} \right)} \cdot \left[\frac{b}{2} + \frac{1,312 \cdot (2-b) \cdot \lg \left(\frac{14,8 \cdot R}{\Delta_e} \right)}{\lg Re - 1} \right], \quad (5)$$

де a_2 – коефіцієнт, що враховує вид шорсткості труб (лотків), характер і структуру потоку рідини із зависю (табл. 1);

Δ_e – еквівалентна шорсткість, м (табл. 1);

b – число подібності режимів руху води;

Re – число Рейнольдса.

З метою визначення коефіцієнтів гідравлічного тертя λ використано відомі залежності між діаметром труби d , її наповненням h/d , центральним кутом сегменту наповнення α , змоченим периметром χ , площею наповнення ω , середньою швидкістю потоку V і числом Рейнольдса Re (рис. 1)

$$\chi = \alpha \cdot \frac{d}{2}; \quad \omega = \frac{d^2}{8} \cdot (\alpha - \sin \alpha); \quad (6)$$

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \left(1 - 2 \cdot \frac{h}{d} \right); \quad (7)$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{d}{4} \cdot \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right); \quad (8)$$

$$V = \frac{8 \cdot q}{d^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha)}; \quad (9)$$

$$Re = \frac{4 \cdot V \cdot R}{\nu} = \frac{V \cdot d}{\nu} \cdot \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right), \quad (10)$$

де ν – кінематична в'язкість, яка залежить від температури та концентрації зважених речовин у стічних водах [9, табл. IV], м²/с.

Методика отримання числових значень пошукових параметрів передбачає першочергове визначення коефіцієнтів і показника степеню у формулі (1) для повного наповнення трубопроводу при $k_{h/d} = 1,0$ [6, 6], а потім – у формулі (2) при $k_{h/d} > 1,0$ ($h/d < 1,0$) [6, 18].

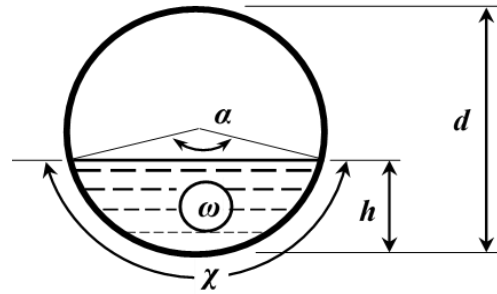


Рис. 1. Схема до визначення гідравлічних параметрів труби

Fig. 1. Scheme for determining the hydraulic parameters of the pipe

При цьому «точні» (еталонні) значення коефіцієнта $k_{h/d}$ розраховані за формулою

$$k_{h/d} = \frac{(2\pi)^\beta \cdot \alpha^{m-2\beta}}{K_{2\theta}^\beta \cdot (\alpha - \sin \alpha)^{m-\beta}}, \quad (11)$$

де $K_{2\theta}$ – коефіцієнт, що вплив гідродинамічних характеристик потоку і становить $K_{2\theta} = 0,88 \div 1,0$ [3, табл. 4].

Залежність впливових параметрів формули (11) від наповнення трубопроводу h/d показано на рис. 2. Вони засвідчують плавну зміну коефіцієнта $k_{h/d}$ від 1,0 до ∞ при зміні наповнення h/d від 1,0 до 0 з врахуванням гідродинамічного впливу потоку.

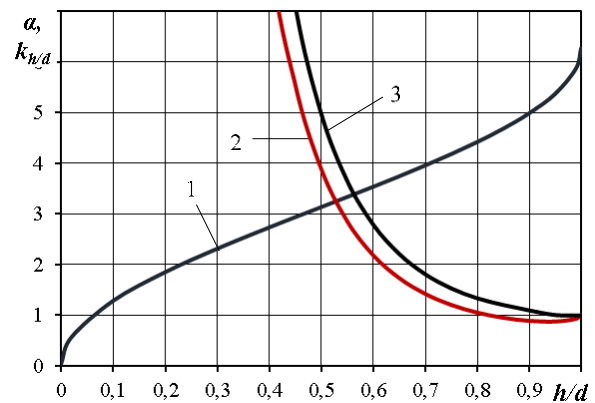


Рис. 2. Зміна кута α , радіани, (лінія 1) і коефіцієнтів $k_{h/d}$ від наповнення трубопроводу h/d без врахування (лінія 2) та з врахуванням гідродинамічного впливу потоку (лінія 3)

Fig. 2. Change of angle of α , radians, (line 1) and coefficients of $k_{h/d}$ from pipeline filling of h/d without taking into account (line 2) and taking into account the hydrodynamic influence of the flow (line 3)

Табл. 1. Числові значення коефіцієнтів і показників степеню у формулах (1) і (2)
Table 1. Numerical values of coefficients and exponents in formulas (1) and (2)

№ з/п	Матеріал труб	Показники шорсткості		Параметри формули (1)			Параметри формули (2)		
		Δ_e , мм	a_2	k	β	m	a	b	ϵ
1	Бетон і з/бетон	2,0	100	0,002087	1,96	5,23	0,74	0,26	-3,92
2	Кераміка	1,35	90	0,001837	1,94	5,20	0,74	0,26	-3,90
3	Чавун	1,0	83	0,001742	1,94	5,18	0,73	0,27	-3,87
4	Сталь	0,8	79	0,001706	1,93	5,14	0,73	0,27	-3,84
5	Азбест	0,6	73	0,001558	1,92	5,13	0,74	0,26	-3,85
6	Пластик, зокрема:	0,01 ÷ 0,06	20	0,000981 ÷ 0,001105*	1,87	4,94	0,72	0,28	-3,70
	- поліпропілен	0,01	(20)	0,000981	1,87	4,94	0,72	0,28	-3,70
	- поліетилен	0,04	20	0,001075	1,87	4,94	0,72	0,28	-3,70
	- полівінілхлорид	0,06	20	0,001105	1,87	4,94	0,72	0,28	-3,70

При визначенні діапазонів, у межах яких слід застосовувати рекомендовані формули і числові значення їхніх параметрів, у якості граничних умов прийняті значення аргументів, що відповідають діапазонам стандартних діаметрів труб, середнім швидкостям руху стічних вод, що мають практичне значення, та еквівалентній шорсткості згідно чинних нормативів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Для визначення розрахункових величин аргументів за еталонними формулами було прийнято показники шорсткості для бетонних, залізобетонних, керамічних, чавунних, сталевих та азбестоцементних труб за ДБН В.2.5-75 (табл. 5), а для пластикових труб – за ДСТУ Н Б В.2.5-40 (п. 5.3.1.2) та [3, табл. 2]. При цьому, враховуючи відсутність у ДБН В.2.5-75 рекомендацій щодо показників шорсткості для пластикових труб та можливість використання ДСТУ-Н Б В.2.5-40 та таблиць для гідралічних розрахунків трубопроводів із полімерних матеріалів (п. 8.2.1), параметри k , β і m визначено на основі формули (5) при величинах еквівалентної шорсткості розрахункових таблиць [3]. Для поліпропіленових (ПП) труб еквівалентну шорсткість Δ_e прийнято рівною мінімально допустимому значенню згідно

нормативу ДСТУ Н Б В.2.5-40 – 0,01 мм, а не 0,005 мм, як запропоновано у [3, табл. 2].

Отримані числові значення коефіцієнтів і показників степенів наведені у табл. 1. Для пластикових труб вони відрізняються тільки значеннями коефіцієнта k , який залежить від шорсткості внутрішньої поверхні труб і може бути розрахований за формулою

$$k = 0.00133 \cdot \Delta_e^{0.066}. \quad (12)$$

де Δ_e – еквівалентна шорсткість труб, мм, яку згідно ДСТУ Н Б В.2.5-40 слід приймати за документацією виробника але не менше 0,01 мм.

Оцінка точності розрахунків за спрощеними формулами (1) і (2) та еталонними (3), (4) і (5) для повного (рис. 3 і 4) і часткового (рис. 5) наповнення трубопроводів показала цілковиту придатність спрощених формул для практичного застосування у широкому діапазоні основних аргументів: діаметрів труб – всі діапазони наявних стандартних значень (від 150 до 2500 мм); середніх швидкостей потоків – від 0,3 до 4,0 м/с; ухилів труб – від 0,001 до 0,2.

Наведені дані засвідчують, що розрахункові дані, які мають практичне значення, можуть бути отримані за спрощеними формулами з відхиленнями від «точних» обчислень не більше $\pm 5\%$.

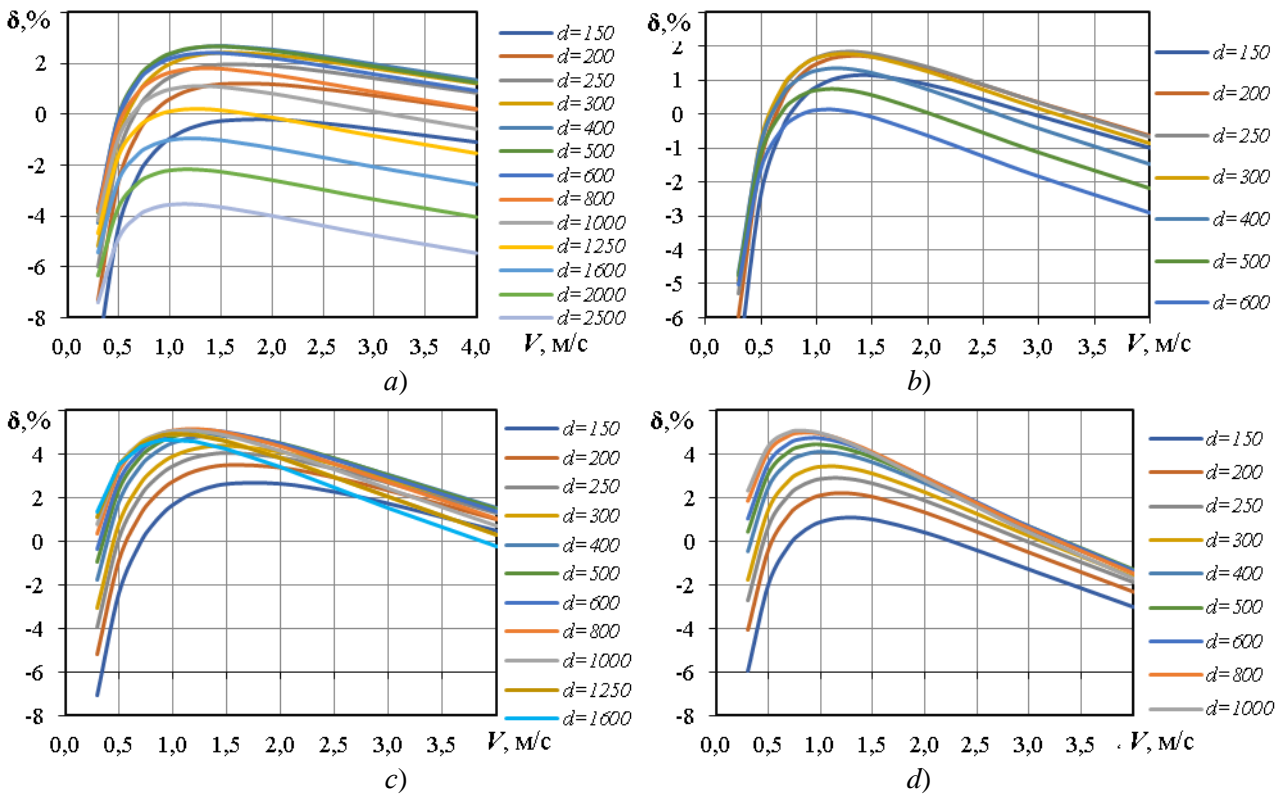


Рис. 3. Похибки розрахунків гідравлічних ухилів за формулою (1) у порівнянні із рекомендаціями ДБН В.2.5-75 (формули (3) і (4)) при повному наповненні труб: *a)* бетонних і залізобетонних; *b)* керамічних; *c)* поліетиленових (ПЕ); *d)* полівінілхлоридних (ПВХ)

Fig. 3. Standard deviations of calculations of hydraulic gradients according to formula (1) in comparison with the recommendations of DBN B.2.5-75 (formulas (3) and (4)) when the pipes are completely filled: *a)* concrete and reinforced concrete; *b)* ceramic; *c)* polyethylene (PE); *d)* polyvinyl chloride (PVC)

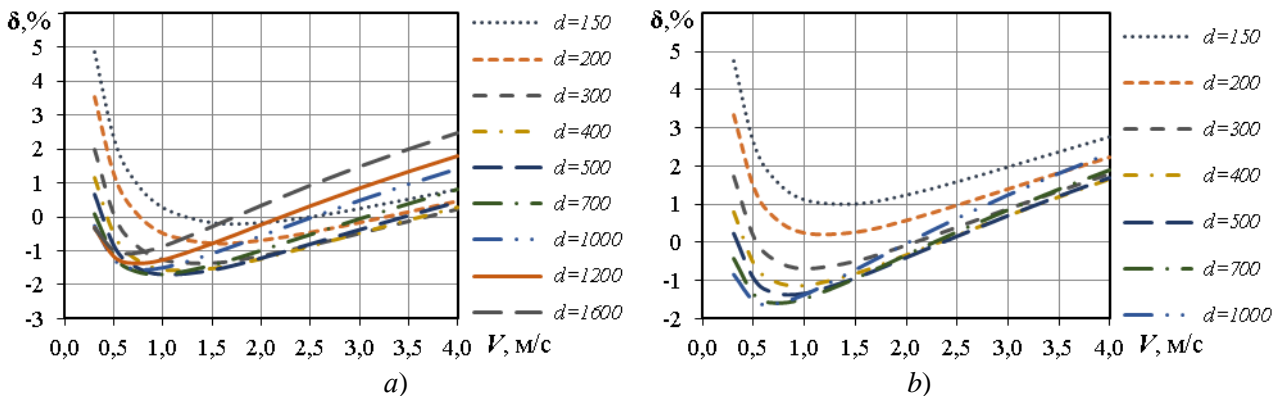


Рис. 4. Похибки розрахунків гідравлічних ухилів за формулою (1) у порівнянні із рекомендаціями ДСТУ Н Б В.2.5-40 (формули (3) і (5)) при повному наповненні труб: *a)* поліетиленових (ПЕ); *b)* полівінілхлоридних (ПВХ)

Fig. 4. Standard deviations of calculations of hydraulic gradients according to formula (1) in comparison with the recommendations of DSTU NB B.2.5-40 (formulas (3) and (5)) when the pipes are completely filled: *a)* polyethylene (PE); *b)* polyvinyl chloride (PVC)

Для пластикових труб розрахунки за двома чинними стандартами (ДБН В.2.5-75 та ДСТУ Н Б В.2.5-40) дають відмінні між собою результати. Обчислення за спрощеними формулами дозволяють отримати

усереднені між ними результати, що підтверджують протилежні значення похибок розрахунків для труб ПЕ (рис. 3c і 4a) і ПВХ (рис. 3d і 4b).

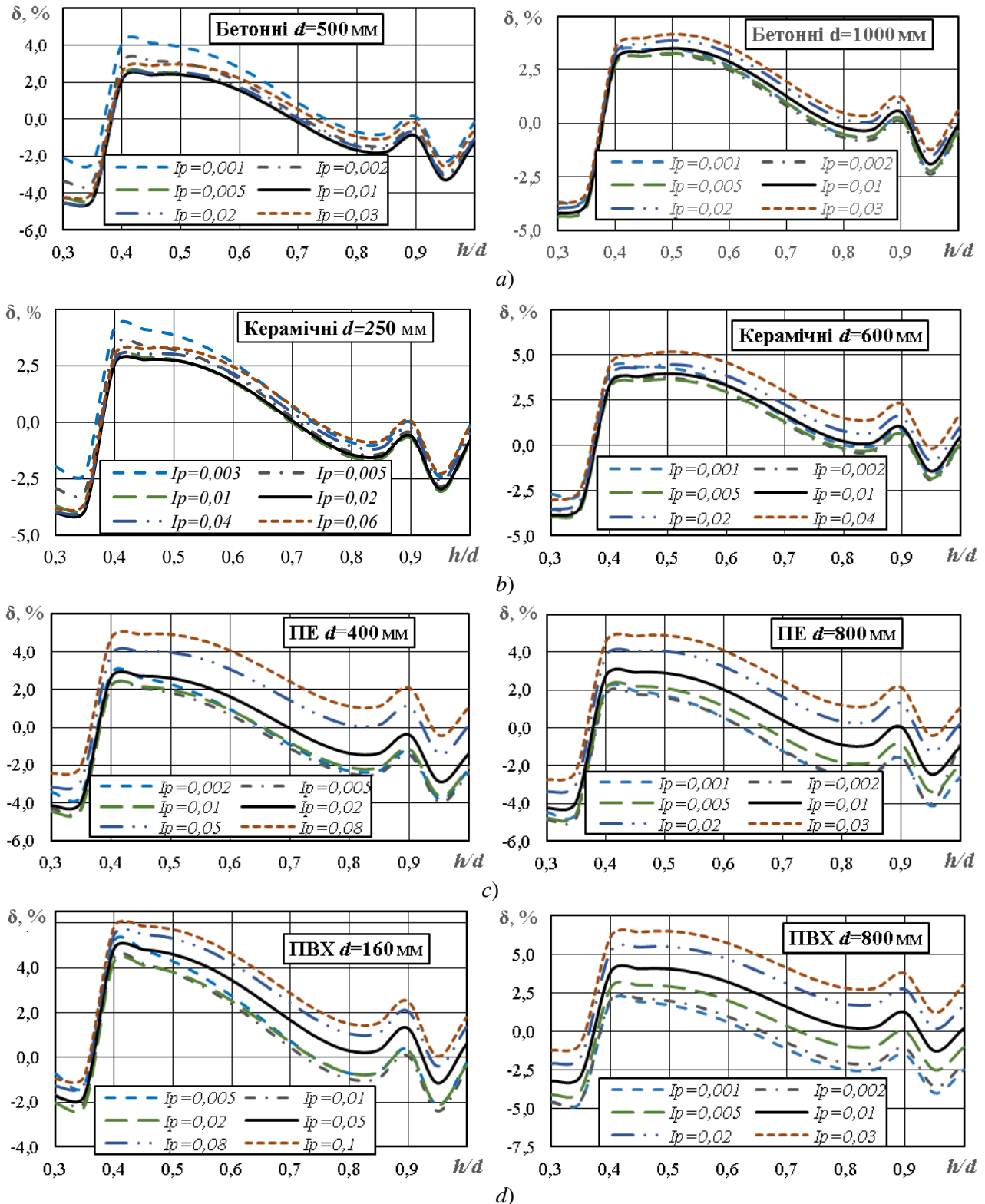


Рис. 5. Відхилення у розрахунках середніх швидкостей та витрат води потоків при зміні наповнення та ухилів трубопроводів на основі спрощених формул (1) і (2) у порівнянні із рекомендаціями [3] для труб: а) бетонних і залізобетонних; б) керамічних; с) поліетиленових (ПЕ); д) полівінілхлоридних (ПВХ)

Fig. 5. Standard deviations the calculations of average velocities and water flows of streams when the filling and slopes of pipelines change based on simplified formulas (1) and (2) in comparison with recommendations [3] for pipes: а) concrete and reinforced concrete; б) ceramic; с) polyethylene (PE); д) polyvinyl chloride (PVC)

Оцінку точності розрахунків при зміні наповнення трубопроводів h/d виконано для заданих діаметрів труб у діапазоні ухилів, що мають для них практичне значення. Тому, у цьому випадку оцінено точність визначення середніх швидкостей потоків і витрат води у трубопроводах для стандартних значень їхніх діаметрів та ухилів. На рис. 5 наведено приклади такої оцінки для окремих діаметрів труб.

Проведена перевірка точності розрахунків за спрощеними формулами підтверджує їхню допустимість для практичного застосування як при повному наповненні труб із можливістю напірних режимів руху стічних вод, так і при частковому наповненні трубопроводів у безнапірних режимах. Зигзагоподібні зміни величин похибок розрахунків пов'язані із врахуванням впливу гідродинамічних характеристик потоків за [3, табл. 4] у межах визначених діапазонів наповнення труб. Очевидно, що вони будуть відсутні при більш точному врахуванні гідродинамічних характеристик потоків при зміні наповнень труб. Однак, загальні тенденції в оцінці точності розрахунків зберігаються.

На основі формул (1), (2), (6) ÷ (11) для практичних розрахунків створено

програмний модуль **Модуль_ГР_ТрКан.xlsx**, який слід застосовувати як електронний калькулятор (рис. 6) у гідравлічних розрахунках трубопроводів водовідведення. За його допомогою можна визначати наповнення h/d і середню швидкість потоків V при заданих матеріалі, діаметрі труб d , витраті води q та ухилі трубопроводу $I_{тр}$. У безнапірному режимі має місце: $h/d \leq 1,0$; $I_p = I_{тр}$. У випадку «переповнення трубопроводу» буде зафіксовано: $h/d = 1,0$; $I_p > I_{тр}$. Це вказує на надзвичайні умови роботи самопливних мереж у напірному режимі.

Для поглибленого аналізу чи для пошуку оптимальних значень, наприклад, ухилу чи діаметра трубопроводу, під значеннями основних результатів розрахунків сірим кольором наведено значення допоміжних даних (коефіцієнта $k_{h/d}$, що залежать від наповнення трубопроводу, центрального кута сегменту наповнення α , гідравлічного радіусу R і числа Рейнольдса Re). Окремі елементи програмного модуля можуть бути застосовані для автоматизованого розрахунку мереж водовідведення у середовищі *Microsoft Excel* або для спеціальних комп'ютерних програм.

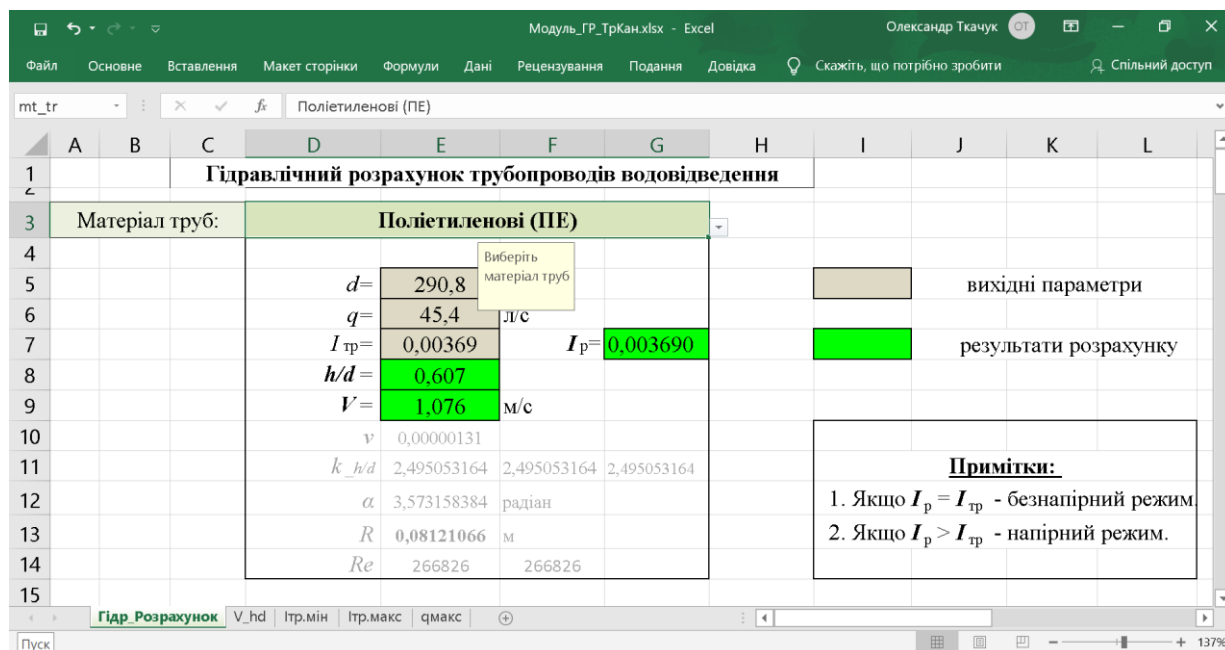


Рис. 6. Приклад робочого поля програмного модуля **Модуль_ГР_ТрКан.xlsx**
 Fig. 6. An example of the workspace of the software module **Модуль_ГР_ТрКан.xlsx**

Аналіз проведених розрахунків із визначення параметрів спрощених формул показав, що їхні значення суттєво залежать не тільки від величин еквівалентної шорсткості, але й її типів за формою виступів, рівномірністю розташування на внутрішній поверхні труб, її прямолінійністю чи хвилястістю тощо [6, 8, 12, 16, 19]. Враховуючи, що величина і тип шорсткості труб залежить не тільки від їхнього матеріалу, але й технологій виготовлення, для кожного нового виду труб потрібно корегувати не тільки параметри спрощених формул, але й еталонних. На сьогодні такими є труби «Корсис», що мають гладеньку, але хвилясту внутрішню поверхню, якої немає ні один із інших видів труб для водовідведення. Підтвердженням подібного впливу є різні оцінки гідравлічних опорів пластикових труб, зокрема, поліпропіленових. Так, для них у таблицях [3] запропоновано значення еквівалентної шорсткості $\Delta_e = 0,005$ мм з коефіцієнтом $a_2 = 130$, які суттєво відрізняються від інших пластикових труб (для ПВХ – $\Delta_e = 0,06$ мм, $a_2 = 20$; для ПЕ – $\Delta_e = 0,04$ мм, $a_2 = 20$). Разом з тим ДСТУ Н Б В.2.5-40 пропонує однакові підходи до визначення гідравлічних опорів кожного виду пластикових труб із зміною тільки значень еквівалентної шорсткості, яка повинна бути не меншою $\Delta_e \geq 0,01$ мм. Це можна пояснити зміною технологій виготовлення труб ПП від початку їх застосування. Це підтверджує і застосування таблиць для гідравлічних розрахунків таких трубопроводів, складених різними авторами на основі досліджень труб із одного матеріалу, виготовлених у різні роки за різними технологіями [3, 6, 13-16].

Безнапірні трубопроводи мереж водовідведення різного призначення мають специфічні конструктивні особливості, різні нормативні вимоги щодо режимів роботи та умов функціонування, а також нормативні обмеження, визначені ДБН В.2.5-75. Дотримання цих вимог є обов'язковим при влаштуванні мереж водовідведення, конструктивні параметри яких визначають на основі їхніх гідравлічних розрахунків. Тому уніфікація гідравлічних розрахунків кожного із типів мереж міського водовідведення

передбачає обов'язкове врахування їхніх особливих умов функціонування, нормативних вимог та обмежень [4, 6, 11].

Чинним нормативом ДБН В.2.5-75 для самопливних трубопроводів обумовлені значення максимальних розрахункових наповнень $(h/d)_{\text{макс}}$, найменших ухилів $I_{\text{тр.мін}}$ і відповідних їм мінімальних швидкостей $V_{\text{мін}}$, а також максимальних швидкостей $V_{\text{макс}}$ при більших ухилах. Значення найменших ухилів $I_{\text{тр.мін}}$ зафіксовані тільки для трубопроводів діаметрами 150 і 200 мм, а для інших – необхідно приймати залежно від допустимих найменших розрахункових швидкостей потоків $V_{\text{мін}}$ при найбільших їхніх розрахункових наповненнях $(h/d)_{\text{макс}}$. Максимальна швидкість $V_{\text{макс}}$ при $(h/d)_{\text{макс}}$ матиме місце при максимально допустимому ухилі $I_{\text{тр.макс}}$. Тому, на основі формул (1) і (2) із визначенням розрахункових витрат води q через середні швидкості потоків V для їхніх нормативних величин $(h/d)_{\text{макс}}$, $V_{\text{мін}}$ та $V_{\text{макс}}$ отримано

$$I_{\text{тр.доп}} = k \cdot \frac{V_{\text{норм}}^\beta}{d^{m-2\beta}} \cdot \left(a + b \cdot \left(\frac{h}{d} \right)_{\text{макс}}^\varepsilon \right) \cdot \left(\frac{\alpha - \sin \alpha}{2\pi} \right)^\beta, \quad (13)$$

де $I_{\text{тр.доп}}$ – допустимі мінімальні $I_{\text{тр.мін}}$ (при нормативних швидкостях $V_{\text{норм}} = V_{\text{мін}}$) та максимальні $I_{\text{тр.макс}}$ (при $V_{\text{норм}} = V_{\text{макс}}$) ухили трубопроводів.

Розраховані за цією формулою значення $I_{\text{тр.доп}}$ для різних діаметрів d і відповідних їм нормативних величин $(h/d)_{\text{макс}}$, $V_{\text{мін}}$ (для $I_{\text{тр.мін}}$) та $V_{\text{макс}}$ (для $I_{\text{тр.макс}}$) вказують на явну їхню кореляційну залежність від діаметрів труб $I_{\text{тр.доп}} = f(d)$. На рис. 7 наведено приклади таких залежностей для бетонних і залізобетонних труб. Аналогічні залежності отримано і для труб із інших матеріалів. Їхні розрахункові значення із коефіцієнтом детермінації R^2 не нижче 0,96 апроксимуються степеневими формулами виду

$$I_{\text{тр.доп}} = a_{\text{тр}} \cdot d^{\chi_{\text{тр}}}, \quad (14)$$

де $a_{\text{тр}}$ і $\chi_{\text{тр}}$ – коефіцієнт і показник степеню, які залежать від матеріалу труб, величин нормативних швидкостей $V_{\text{норм}}$ та допустимих розрахункових наповнень $(h/d)_{\text{макс}}$ труб;

d – розрахунковий діаметр труб, мм.

При визначенні допустимих уклонів за формулою (13), а на їх основі і величин параметрів $a_{\text{тр}}$ і $\chi_{\text{тр}}$, числові значення наведено у табл. 2, враховано, що відповідно до вимог ДБН В.2.5-75 для мереж різного призначення (господарсько-побутових, дощових і загальносплавних) найменші розрахункові швидкості стічних вод у трубах $V_{\text{мін}}$ при найбільшому розрахунковому наповненні труб $(h/d)_{\text{макс}}$ однакові і залежать тільки від діаметра труб. Разом з тим $(h/d)_{\text{макс}}$ і $V_{\text{макс}}$ мають різні значення: для господарсько-побутових мереж – $(h/d)_{\text{макс}} = 0,6 \div 0,8$; $V_{\text{макс}} = 4$ м/с (для металевих труб – 8 м/с); для дощових і загальносплавних мереж – $(h/d)_{\text{макс}} = 1,0$; $V_{\text{макс}} = 7$ (10) м/с. Це пояснює той факт, що апроксимаційні лінії $I_{\text{тр.мін}} = f(d)$ для господарсько-побутових, дощових і

загальносплавних мереж співпадають (рис. 7а), а $I_{\text{тр.макс}} = f(d)$ – суттєво відрізняються (рис. 7б).

Для труб діаметрами 150 і 200 мм мінімально допустимі величин ухилів $I_{\text{тр.мін}}$ згідно ДБН В.2.5-75 (п. 8.5.1) рекомендовано приймати, відповідно, рівними 0,008 і 0,007. Як виняток, залежно від місцевих умов для окремих ділянок самопливних мереж, допускається приймати ухили для $d_y = 150$ мм – 0,007, $d_y = 200$ мм – 0,005, а при застосуванні пластмасових труб, відповідно, 0,006 і 0,004 (рис. 7а і 8а). Ці значення є більшими за розрахункові, що обумовлено складними умовами експлуатації труб водовідведення малих діаметрів через високу нерівномірність поступлення стічних вод і потенційні загрози їхнього замулення [4, 11, 12].

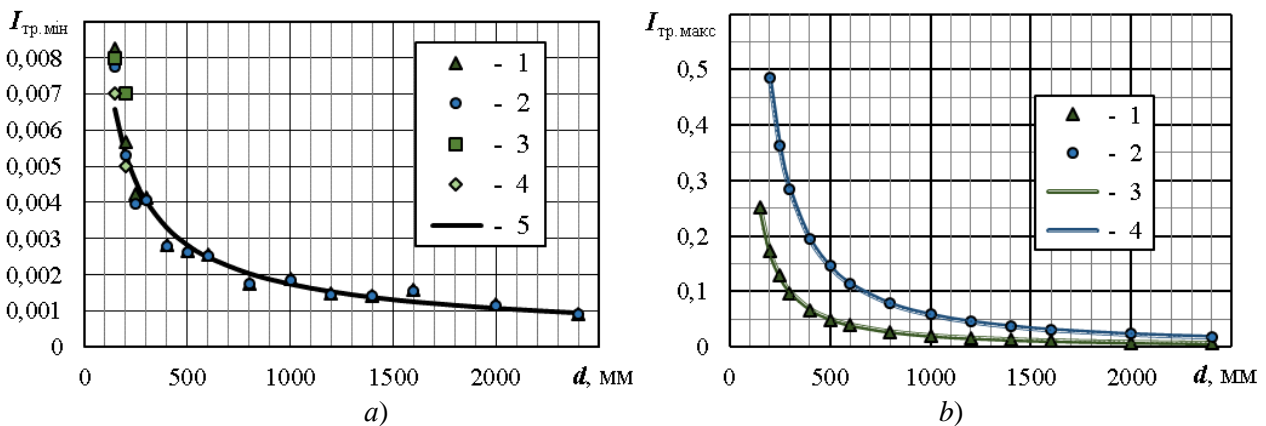


Рис. 7. Залежності допустимих ухилів трубопроводів із бетонних і залізобетонних труб від їхніх діаметрів d : а) мінімальних $I_{\text{тр.мін}}$: 1 – значення $I_{\text{тр.мін}}$ для господарсько-побутових мереж, розраховані за формулою (13); 2 – те ж, для дощових і загальносплавних; 3 – унормовані ДБН В.2.5-75 величини $I_{\text{тр.мін}}$ для труб $d = 150$ і 200 мм; 4 – те ж, допустимі, як виняток, для окремих ділянок мережі; 5 – лінія апроксимаційної залежності (14) для $I_{\text{тр.мін}}$; б) максимальних $I_{\text{тр.макс}}$: 1 – розраховані за формулою (13) значення $I_{\text{тр.макс}}$ для господарсько-побутових мереж; 2 – те ж, для дощових і загальносплавних мереж; 3 – лінія апроксимаційної залежності (14) для $I_{\text{тр.макс}}$ господарсько-побутових мереж; 4 – те ж, для дощових і загальносплавних мереж

Fig. 7. Dependencies of the minimum allowable slopes of pipelines made of concrete and reinforced concrete pipes on their diameters d : а) minimum $I_{p.min}$: 1 – values of $I_{p.min}$ for economic and household networks, calculated according to formula (13); 2 – the same, for rain and all-alloy; 3 – normalized DBN B.2.5-75 values of $I_{p.min}$ for pipes $d = 150$ and 200 mm; 4 – the same, permissible, as an exception, for individual sections of the network; 5 – line of approximation dependence (14) for $I_{p.min}$; б) maximum $I_{p.max}$: 1 – values of $I_{p.max}$ for economic and household networks calculated according to formula (13); 2 – the same, for rain and general alloy networks; 3 – line of approximation dependence (14) for $I_{p.max}$ household networks; 4 – the same, for rain and general alloy networks

Відповідно до отриманих значень параметрів $a_{тр}$ і $\chi_{тр}$ (табл. 2) на рис.8 представлено залежності $I_{тр, доп} = f(d)$ для труб із

різних матеріалів, що відповідають діапазонам стандартних діаметрів із їхніми нормативними величинами $V_{мін}$, $V_{макс}$ та $(h/d)_{макс}$.

Табл. 2. Числові значення коефіцієнтів $a_{тр}$ і показників степеню $\chi_{тр}$ у формулі (14)
Table 2. Numerical values of a_p coefficients and χ_p exponents in formula (14)

№ з/п	Матеріал труб	Для мінімально допустимих ухилів $I_{тр,мін}$		Для максимально допустимих ухилів $I_{тр,макс}$			
				для господарсько-побутових мереж		для дощових і загальнотранспортних мереж	
		$a_{тр,мін}$	$\chi_{тр,мін}$	$a_{тр,макс,г-п}$	$\chi_{тр,макс,г-п}$	$a_{тр,макс,дощ}$	$\chi_{тр,макс,дощ}$
1	Бетон і з/бетон	0,22	-0,70	195	-1,33	500	-1,31
2	Кераміка	0,19	-0,70	215	-1,37	460	-1,32
3	Чавун	0,18	-0,70	645	-1,34	755	-1,30
4	Сталь	0,15	-0,68	480	-1,30	630	-1,28
5	Азбест	0,13	-0,67	150	-1,35	305	-1,29
6	Полівінілхлорид (ПВХ)	0,06	-0,60	46	-1,23	105	-1,20
7	Поліетилен (ПЕ)	0,056	-0,60	44	-1,23	104	-1,20
8	Поліпропілен (ПП)	0,052	-0,60	41	-1,23	95	-1,20

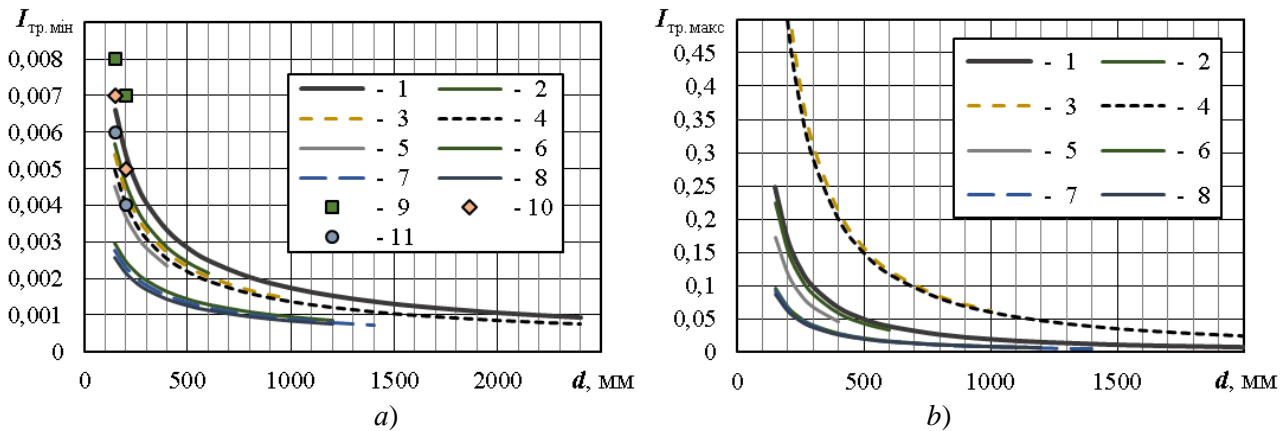


Рис. 8. Залежності допустимих ухилів $I_{тр, доп}$ господарсько-побутових мереж від стандартних діаметрів труб d різних матеріалів: а) мінімальних $I_{тр,мін}$; б) максимальних $I_{тр,макс}$: 1 – бетонних і залізобетонних; 2 – керамічних; 3 – чавунних; 4 – сталевих; 5 – азбестоцементних; 6 – ПВХ; 7 – ПЕ; 8 – ПП; 9 – унормовані величини $I_{тр,мін}$ для труб $d = 150$ і 200 мм; 10 – те ж, допустимі для окремих ділянок; 11 – те ж, для пластикових труб

Fig. 8. Dependences of permissible slopes of $I_{p,all}$ domestic networks on standard pipe diameters d of different materials: а) minimum $I_{p,min}$; б) maximum $I_{p,max}$: 1 – concrete and reinforced concrete; 2 - ceramic; 3 – cast iron; 4 – steel; 5 – asbestos cement; 6 – PVC; 7 – PE; 8 – PP; 9 – normalized $I_{p,min}$ values for pipes $d = 150$ and 200 mm; 10 – the same, permissible for individual plots; 11 – the same, for plastic pipes

При відомих величинах допустимих ухилів трубопроводів $I_{тр, доп}$ та значеннях максимальних наповнень труб $(h/d)_{макс}$ на основі формул (1) і (2) достатньо просто визначити

відповідні їм максимальні граничні витрати стічних вод

$$Q_{макс,гр} = \left(\frac{I_{тр, доп} \cdot d^m}{k \cdot (a + b \cdot (h/d)_{макс}^e)} \right)^{1/\beta} \cdot (15)$$

На рис. 9 наведені залежності, побудовані за формулою (15) для мереж різного призначення, при застосуванні для них труб із різного матеріалу і, відповідних їм, нормативних значень V_{\min} , V_{\max} та $(h/d)_{\max}$. Очевидним є той факт, що матеріал труб впливає практично тільки через різні значення V_{\max} для металевих і неметалевих труб. Самі залежності $q_{\max,гр} = f(d, I_{тр,доп})$ для мереж різного призначення, а для максимальних допустимих ухилів $I_{тр,макс}$ – окремо для металевих і неметалевих труб, із достатньо високими коефіцієнтами детермінації R^2 можуть

бути апроксимовані простими степеневими формулами

$$q_{\max,гр} = a_{гр} \cdot d^{\chi_{гр}}, \quad (16)$$

де $a_{гр}$ і $\chi_{гр}$ – коефіцієнти і показники степенів, які залежать від призначення мереж водовідведення, матеріалу труб (металеві або неметалеві), граничних значень допустимих ухилів труб ($I_{тр,мін}$ і $I_{тр,макс}$), параметри яких наведені на рис. 9 для відповідних ліній трендів;

d – розрахунковий діаметр труб, мм.

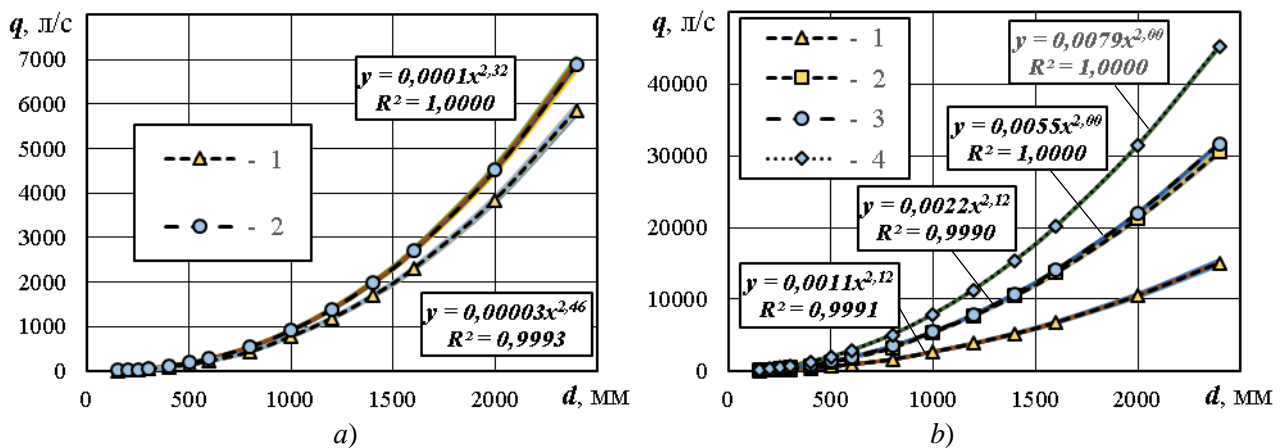


Рис. 9. Залежності між максимальними граничними витратами стічних вод і діаметрами трубопроводів при допустимих ухилах $I_{тр,доп}$ у них: а) мінімальних $I_{тр,мін}$ – 1 – у господарсько-побутових мережах; 2 – у дощових і загальносплавних; б) максимальних $I_{тр,макс}$ – 1 – у господарсько-побутових мережах із неметалевих труб; 2 – те ж, із металевих труб; 3 – у дощових і загальносплавних мережах із неметалевих труб; 4 – те ж, із металевих труб

Fig. 9. Dependencies between the maximum critical flows of wastewater and the diameters of pipelines with permissible slopes of $I_{p.all}$ of them: а) minimum $I_{p.min}$ - 1 - in domestic networks; 2 – in rainwater and combined networks; б) maximum $I_{p.max}$ – 1 – in domestic networks from non-metallic pipes; 2 – the same, from metal pipes; 3 – in rainwater and combined networks from non-metallic pipes; 4 - the same, from metal pipes

Отримані залежності граничних витрат стічних вод $q_{\max,гр}$ від діаметрів труб дозволяють встановити їхні діапазони при зміні ухилів трубопроводів від мінімально допустимих $I_{тр,мін}$ до максимальних $I_{тр,макс}$, усереднені значення яких наведені у табл. 2. При цьому відхилення усереднених значень $q_{\max,гр}$ не перевищує інші величини масивів їхніх значень для відповідного призначення мереж (господарсько-побутові, дощові чи загальносплавні) і групи матеріалу труб (металеві і неметалеві) на $\pm 2\%$.

Для визначення діаметрів труб, які слід прокласти з мінімально допустимими

ухилами (практично горизонтальна поверхня землі, або має зворотній ухил), на основі формули (16) і параметрів у ній при $I_{тр,мін}$ (рис. 9а) отримано такі залежності для визначення діаметрів труб при відомих витратах стічних вод на ділянках мереж водовідведення $q_{г-п}$ і $q_{дощ}$, л/с:

– господарсько-побутових

$$d_{г-п} = 68 \cdot q_{г-п}^{0.41}; \quad (17)$$

– дощових і загальносплавних

$$d_{дощ} = 53 \cdot q_{дощ}^{0.43}. \quad (18)$$

Отримані за цими формулами значення діаметрів труб d , мм, заокруглюють у більшу сторону до найближчих стандартних величин діаметрів і за формулою (14)

уточнюють значення мінімально допустимого ухилу трубопроводу $I_{тр.мін}$.

Такий підхід дозволяє уніфікувати гідралічні розрахунки за рахунок обґрунтованого вибору діаметрів труб.

Табл. 3. Максимальні граничні витрати стічних вод $q_{макс.гр}$, л/с, у трубопроводах водовідведення
Table 3. The maximum marginal flow of wastewater $q_{max.mr}$, l/s, in drainage pipelines

d , мм	Для господарсько-побутових мереж при ухилах			Для дощових і загальносплавних мереж при ухилах		
	$I_{тр.мін}$	$I_{тр.макс}$ для труб		$I_{тр.мін}$	$I_{тр.макс}$ для труб	
		неметалевих	металевих		неметалевих	металевих
150	6,8	44,1	88,2	-	-	
200	13,1	78,0	156,1	21,8	219,9	314,2
250	22,1	121,3	243,1	36,5	343,5	491,0
300	41,2	212,9	427,7	55,7	494,7	707,0
400	80,2	376,5	757,0	108,4	879,5	1256,8
500	145,2	632,3	1273,3	181,8	1374,2	1963,8
600	221,5	907,3	1828,4	277,4	1978,8	2827,9
800	431,4	1604,1	3236,0	540,2	3517,8	5027,3
1000	770,9	2659,2	5371,7	906,0	5496,6	7855,2
1200	1176,2	3815,9	7713,5	1382,2	7915,1	11311,5
1400	1681,1	5178,5	10473,9	1975,6	10773,4	15396,2
1600	2290,7	6746,5	13652,0	2692,0	14071,4	20109,3
2000	3841,7	10496,5	21257,8	4514,7	21986,5	31420,8
2400	5861,3	15062,3	30525,2	6888,1	31660,6	45246,0

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведення гідралічних розрахунків трубопроводів водовідведення за спрощеними степеневими формулами дозволяє не тільки спростити самі розрахунки, але й отримати на їхній основі додаткові залежності між конструктивними параметрами трубопроводів. Отримано числові значення коефіцієнтів та показників степенів у спрощених формулах для трубопроводів із різних матеріалів. Встановлено, що для всіх типів міського водовідведення (господарсько-побутового, дощового і загальносплавного), значення мінімально допустимих ухилів трубопроводів практично співпадають, залежать тільки від їхніх діаметрів і можуть бути розраховані за отриманою формулою (14) із рекомендованими числовими значеннями її параметрів для труб різних

матеріалів. Визначено гранично допустимі мінімальні та максимальні ухили, а також максимальні витрати стічних вод, що відповідають цим ухилам для трубопроводів різних діаметрів (рис. 9 і табл. 3).

Нові підходи до гідралічних розрахунків мереж водовідведення передбачають: проведення розрахунків на основі запропонованої спрощеної формули (1) та визначення основних конструктивних параметрів і допустимих граничних витрат стічних вод на основі рекомендованих залежностей із відповідними числовими значеннями параметрів у них: мінімальних і максимальних допустимих ухилів – формула (14) і табл. 2; діаметрів труб, які слід прокладати з мінімально допустимими ухилами – формули (17 і 18); максимально допустимих витрат стічних вод – формула (16) і табл. 3.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Гіжа О.** Про методику дослідження гідравлічних коефіцієнтів тертя у напірних трубопроводах // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Київ: КНУБА, 2020, вип.33. С. 19-25.
2. **Константинов Ю. М., Гіжа О. О.** Технічна механіка рідин та газу. Підручник. Київ: Вища школа, 2002. 277 с.
3. **Константинов Ю. М., Василенко А. А., Сапухин А. А., Батченко Б. Ф.** Гидравлический расчет сетей водоотведения. Расчетные таблицы. Київ: Будівельник, 1987. 120 с.
4. **Курганов А. М., Федоров Н. Ф.** Гидравлические расчеты водоснабжения и водоотведения: Справочник. Ленинград: Стройиздат, 1986. 440 с.
5. **Лукиных А. А., Лукиных М. А.** Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. Млсква: Стройиздат, 1987. 156 с.
6. **Ткачук О. А.** Гідравлічні розрахунки трубопроводних систем водопостачання та водовідведення: Монографія. Рівне: НУВГП, 2022. 183 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/23889>
7. **Ткачук О. А., Ярута Я. В.** Уточнені формули для розрахунків трубопроводів мереж водовідведення // Вісник ОДАБА. Зб. наук. праць. Одеса, 2017. Вип. 68. С. 165-172.
8. **Хлапук М. М., Мошинський В. С., Безусяк О. В., Волк Л. Р.** Аналіз розвитку теорії руху потоку в трубопроводах // Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки. 2019. Вип. 2(86). С. 70–78.
9. **Федоров Н. Ф., Волков Л. Е.** Гидравлический расчет канализационных сетей (Расчетные таблицы). 4-е издание. Ленинград: Стройиздат, 1968. 251с.
10. **Brkić D.** A note on explicit approximations to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016, 93, pp. 513-515. URL: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.109>.
11. **Drain** and sewer systems outside buildings. Sewer system management: BS EN 752:2017. 130 p.
12. **Essel, E. E., Mali, S., Thacher, E. W., & Tachie, M. F.** Upstream roughness effects on reattached turbulent flow over forward-facing step. 10th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Spain, 2014. URL: <https://torroja.dmt.upm.es/congresos/ETMM10/4-Essel.pdf>.
13. **Fluid Flow Friction Loss - Hazen-Williams Coefficients.** URL: https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html.
14. **Hussein A. K.** Calculate the head loss for the circular pipes using the Simulink/Matlab // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019, 14(7). 2321-2332. <https://doi.org/10.36478/jeasci.2019.2321.2332>
15. **ISO TR 10501** Thermoplastics pipes for the transport of liquids under pressure – Calculation of head losses (Status: Active).
16. **Kalyuzhniy A. P., Zubricheva L. L., Kryvenko O. O.** Comparison of the hydraulic calculations tables networks sewerage // Energy, energy saving and rational nature use, 2015, 2(5) pp. 32-35.
17. **Neto O. R., Botrel T. A., Frizzone J. A., Camargo A. P.** Method for determining friction head loss along elastic pipes // Irrigation Science, 2014, 32(5). pp. 329-339. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0431-7>
18. **Tkachuk O., Yaruta Ya., Shevchuk O., Azizova A.** Theoretical Bases of the Compatible Work of the Construction of Stormwater Drainage Systems in the Regulation of Stormwater Runoff // International Journal of Engineering & Technology. 2018, 7 (4.8). P. 432-439. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/27285/14016>
19. **Orel, V., Pitsyshyn, B., & Konyk T.** Hydrodynamical instability of newtonian flow before an axisymmetric sudden contraction // Theory and Building Practice. 2021, 3(2), pp. 32–38.
20. **Rollmann P., Spindler K.** Explicit representation of the implicit Colebrook–White equation // Case Studies in Thermal Engineering. Eng. 2015. 5, pp. 41–47.
21. **Shaikh M. M., Massan S. R., Wagan A. I.** A new explicit approximation to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases. International // Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. 88, pp. 538–543.
22. **Wikipedia.** Коефіцієнт детермінації. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_детермінації (дата звернення: 24.08.2022).

REFERENCES

1. **Gizha, O. (2020)** About the method of research of hydraulic coefficients friction in pressure pipelines. *Problems of Water supply,*

- Sewerage and Hydraulic*, 33. 19-25.
<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.19-25>
2. **Konstantynov, Yu. M., & Gizha, O. O. (2002)** *Tekhnichna mekhanika ridyn ta hazu. Pidruchnyk*. Kyiv: Vyscha shkola. [in Ukrainian]
 3. **Konstantinov, Yu. M., Vasilenko, A. A., Sapukhin, A. A., & Batchenko, B. F. (1987)** *Gidravlicheskiy raschet setey vodootvedeniya. Raschetnyye tablitsy*. Kyiv: Budivelnik. [in Russian]
 4. **Kurganov, A. M., & Fedorov, N. F. (1986)** *Gidravlicheskiye raschety vodosnabzheniya i vodootvedeniya: Spravochnik*. Leningrad: Stroyizdat [in Russian]
 5. **Lukinykh, A. A., & Lukinykh, M. A. (1987)** *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta kanalizatsionnykh setey i dyukerov po formule akad. N. N. Pavlovskogo*. Moskva: Stroyizdat [in Russian]
 6. **Tkachuk, O. A. (2022)** *Hidravlichni rozrakhunky truboprovodnykh system vodopostachannya ta vodovidvedennya: Monohrafiya*. Rivne: NUWEE. Retrieved from: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/23889> [in Ukrainian]
 7. **Tkachuk, O. A., & Yaruta, YA. V. (2017)** Utochneni formuly dlya rozrakhunkiv truboprovodiv merezh vodovidvedennya. *Visnyk ODABA*, 68. 165-172. [in Ukrainian]
 8. **Khlapuk, M. M., Moshynskiy, V. S., Bezusyak, O. V., & Volk, L. R. (2019)** Analiz rozvytku teorii rukhu potoku v truboprovodakh. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*, 2(86). 70–78. [in Ukrainian]
 9. **Fedorov, N. F., & Volkov, L. Ye. (1968)**. *Gidravlicheskiy raschet kanalizatsionnykh setey (Raschetnyye tablitsy)*. Leningrad: Stroyizdat. [in Russian]
 10. **Brkić D. (2016)** A note on explicit approximations to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93. 513-515.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.109>
 11. **Drain** and sewer systems outside buildings. Sewer system management: BS EN 752:2017.
 12. **Essel, E. E., Mali, S., Thacher, E. W., & Tachie, M. F. (2014)** Upstream roughness effects on reattached turbulent flow over forward-facing step. *10th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements*, Spain, 2014. URL: <https://torroja.dmt.upm.es/congresos/ETMM10/4-Essel.pdf>.
 13. **Fluid Flow Friction Loss - Hazen-Williams Coefficients.** URL: https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html.
 14. **Hussein, A. K. (2019)** Calculate the head loss for the circular pipes using the Simulink/Matlab. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(7). 2321-2332.
<https://doi.org/10.36478/jeasci.2019.2321.2332>
 15. **ISO TR 10501** Thermoplastics pipes for the transport of liquids under pressure – Calculation of head losses (Status: Active).
 16. **Kalyuzhniy, A. P., Zubricheva, L. L., & Kryvenko O. O. (2015)** Comparison of the hydraulic calculations tables networks sewerage. *Energy, energy saving and rational nature use*, 2(5) pp. 32-35.
 17. **Neto, O. R., Botrel, T. A., Frizzone, J. A., & Camargo, A. P. (2014)** Method for determining friction head loss along elastic pipes. *Irrigation Science*, 32(5). 329-339.
<https://doi.org/10.1007/s00271-014-0431-7>
 18. **Tkachuk, O., Yaruta, Ya., Shevchuk, O., & Azizova, A. (2018)** Theoretical Bases of the Compatible Work of the Construction of Stormwater Drainage Systems in the Regulation of Stormwater Runoff. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8). 432-439. Retrieved from <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/27285/14016>
 19. **Orel, V., Pitsyshyn, B., & Konyk T. (2021)** Hydrodynamical instability of newtonian flow before an axisymmetric sudden contraction. *Theory and Building Practice*, 3(2). 32–38.
<https://doi.org/10.23939/jtbp2021.02.032>
 20. **Rollmann, P., Spindler, K. (2015)** Explicit representation of the implicit Colebrook–White equation. *Case Studies in Thermal Engineering*. Eng. 5, 41–47.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.12.001>
 21. **Shaikh, M. M., Massan, S. R., & Wagan, A. I. (2015)** A new explicit approximation to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 88, 538–543.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.006>
 22. **Wikipedia.** Coefficient of determination. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination

New approaches to hydraulic calculations of pipeline of water disposal networks based on simplified formulas

Oleksandr Tkachuk, Olha Shevchuk

Abstract. The expediency and critical conditions of conducting hydraulic calculations of drainage pipelines according to simplified power-law formulas have been determined. The main interrelationships between structural and kinematic parameters of drainage pipelines when performing their hydraulic calculations using simplified formulas are analyzed. Numerical values of coefficients and exponents in simplified formulas for pipelines made of different materials were obtained. It was established that for all types of urban drainage (domestic, rainwater and combined), the values of the minimum allowable slopes of the pipelines practically coincide, depend only on their diameters and can be calculated according to the obtained empirical formula with the recommended numerical values of its parameters for pipes of different materials. The maximum allowable of minimum and maximum slopes, as well as the corresponding maximum waste water consumption for pipelines of different diameters and materials, are determined.

New approaches to hydraulic calculations of water drainage networks involves their execution according to a single methodology based on the proposed simplified formulas. Also, it involves the use of the obtained empirical dependencies to determine the minimum and maximum permissible slopes and the corresponding maximum marginal flows of wastewater and pipe diameters. The algorithm for the unification of hydraulic calculations when solving the optimization problem is considered. The effectiveness of the application of simplified power-law formulas of hydraulic calculations and empirical dependencies obtained on their basis for unification is shown. Carrying out hydraulic calculations of drainage pipelines using simplified power-law formulas allows not only to simplify the calculations themselves, but also to obtain additional dependencies between the structural parameters of the pipelines based on them.

Keywords: hydraulic calculations, collectors, pipelines, drainage.

Стаття надійшла до редакції 14.09.2022