

УДК 628.3

А.П. КАЛЮЖНИЙ, кандидат технічних наук  
Л.Л. ЗУБРИЧЕВА

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

### **ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ТАБЛИЦЬ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ВОДОВІДВІДНИХ ТРУБ СУЧАСНИМ МАТЕРІАЛАМ ТРУБ**

*Розглянуті особливості розрахунку каналізаційних мереж за допомогою різних формул і таблиць [2, 3, 4]. Проаналізовано діаметри труб і їх наповнення при певних витратах стічної води. Для співставлення таблиць гідравлічного розрахунку водовідвідних мереж проведені практичні розрахунки мережі водовідведення малого міста, яке розташоване на території України та зроблено висновок щодо удосконалення таблиць гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж в залежності від матеріалу трубопроводу.*

**Ключові слова:** водовідвідна мережа, стічна вода, гідравлічний розрахунок, таблиці гідравлічного розрахунку, діаметри, труби.

*Рассмотрены особенности расчета канализационных сетей с помощью различных формул и таблиц [2, 3, 4]. Проанализированы диаметр труб и их наполнения при определенных вытратах сточной воды. Для сопоставления таблиц гидравлического расчета водоотводящих сетей проведены практические расчеты сети водоотведения малого города, расположенного на территории Украины и сделан вывод относительно усовершенствования таблиц гидравлического расчета канализационных сетей в зависимости от материала трубопровода.*

**Ключевые слова:** водоотводящая сеть, сточная вода, гидравлический расход, таблицы гидравлического расчета, диаметры, трубы.

*The article describes the features of the calculation of sewer networks using a variety of formulas and tables [2, 3, 4]. Pipe diameters and analyzed their filling under certain vytratah wastewater. For comparison tables hydraulic calculation of drainage networks conducted practical drainage network calculations of a small city, located on the territory of Ukraine and the conclusion regarding the improvement of tables hydraulic calculation of sewer networks, depending on the pipeline material.*

**Key words:** sewerage networks, wastewater, hydraulic calculation, tables of hydraulic calculation, diameter and pipes.

**Постановка проблеми.** При проектуванні водовідвідних мереж, після трасування, відповідальним етапом є гідравлічний розрахунок. Від того, наскільки досконало виконаний гідравлічний розрахунок та підібрані матеріали труб, залежить упорядкована робота всієї каналізаційної системи.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Кошторисна вартість мережі водовідведення залежить від вибору таблиць гідравлічного розрахунку водовідвідної мережі [7,196]. Поява сучасних матеріалів труб потребує змін у таблицях гідравлічного розрахунку водовідвідних мереж [8,35]. Експериментальні та аналітичні підтвердження ефективності застосування найбільш поширених таблиць гідравлічного розрахунку подано в джерелі [9,44].

**Виділення не розв'язаних раніше частин проблем.** Сучасний стан систем водовідведення та поява труб із нових матеріалів потребує удосконалення методів гідравлічного розрахунку та внесення деяких змін в таблиці гідравлічного розрахунку та до нормативної літератури. Це питання розглядається і вирішується у світлі зниження вартості будівництва й експлуатації систем водовідведення.

**Мета статті.** Завданням цього аналізу є розгляд можливих технічних рішень для забезпечення обґрунтованого проектування або реконструкції мережі водовідведення.

**Виклад основного матеріалу.** Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі виконують для визначення діаметрів труб для транспортування стічної рідини, ухилів, швидкості течії та ступеню наповнення трубопроводів.

Для гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж використовуються формули для рівномірного руху рідини. В результаті розрахунку повинні бути визначені наступні невідомі:

- діаметр трубопроводу каналізації,  $d$ ;
- середня швидкість потоку  $v$  в каналізаційній трубі;
- гідравлічний ухил  $i$ ;
- ступінь наповнення  $h/d$ , де  $h$  – висота стічної води в трубі.

Для розрахунків залежно від поставленого завдання використовуються дві невідомі величини. Найчастіше це ступінь наповнення і гідравлічний ухил.

Для ефективної роботи самопливної каналізації мають бути дотримані деякі умови. Найголовнішою з них є неповне заповнення каналізаційної системи. Тобто труби не повинні бути наповнені вщерть. Деяка частина простору повинна залишатися вільною. Така вимога передбачена технікою безпеки. Наявність деякого порожнього простору в трубопроводах каналізації потрібна для можливого накопичення отруйних, вибухонебезпечних та інших газів. Також вільний простір в трубопроводі каналізаційної системи дозволяє безперешкодно проходити твердим і габаритним предметам, які потрапили туди. Тобто вільний простір в трубопроводі – це створення додаткової пропускної здатності на випадок підвищення рівня рідини або ж іншого вмісту каналізації.

Відповідність ступеня наповнення діаметрам труб вказана в таблиці 6 джерела [1,41]. Чим більше діаметр, тим більше величина максимального наповнення труби.

Для гарантії нормальної роботи самопливної водовідвідної мережі необхідно так підбирати гідравлічний ухил труби, щоб забезпечити рух рідини з самоочисною швидкістю [1,41].

Гідравлічний ухил каналізаційних труб дозволяє здійснювати якісний прохід вмісту каналізаційної системи. Якщо дана величина розрахована грамотно, то ймовірність засмічення трубопроводу мінімальна. Даний фактор важливий для безперебійної роботи всієї системи.

При гідравлічному розрахунку каналізаційної системи важливо дотримуватися деяких правил. Вся ділянка трубопроводу повинна бути по можливості максимально рівномірною, без будь-яких перепадів висот. Швидкість потоку на наступній ділянці повинна бути рівною або дещо більшою ніж на попередній ділянці, що дозволяє забезпечувати самоочисну здатність колектору.

Всі ці розрахунки не тільки складні і вимагають витрат значної кількості часу і трудових ресурсів. а ще і евристичного підходу проєктанта до рішення задач.

Для вирішення даної проблеми й оптимізації продуктивності розумової праці, були складені спеціальні таблиці для гідравлічного розрахунку водовідвідних мереж, якими і користуються проєктанти.

Всі розрахункові роботи ведуться згідно з вимогами, які пред'являються проєктантам. Ці вимоги спрямовані на розробку працездатною надійної водовідвідної мережі.

Для порівняльного аналізу обрано таблиці трьох різних авторів [2,156;3,53;4,44].

По-перше, таблиці відрізняються тим, що при однакових діаметрах рекомендується дещо різний ступінь наповнення (табл.1).

Таблиця1

**Порівняльні дані табличних значень наповнень**

Значення рекомендованих наповнень в трубах для побутової каналізації згідно джерела [ 2]					
<b>d, мм</b>	125	150-300	350-450	500-900	1000-2500
<b>h/d</b>	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8
Значення рекомендованих наповнень в трубах для побутової каналізації згідно джерела [ 3]					
<b>d, мм</b>	110	125-250	280-400	450-900	1000-1200
<b>h/d</b>	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8
Значення рекомендованих наповнень в трубах для побутової каналізації згідно джерела [ 4]					
<b>d, мм</b>	125	160-315	400	500-800	1000-1200
<b>h/d</b>	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8

Далі розглядаємо відмінності у методиці розрахунку.

Таблиці [2,156] складені за формулою академіка Павловського для значень коефіцієнта шорсткості самопливних колекторів, які виконані з кераміки, бетону і залізобетону  $n= 0,014$  [2,3].

Дані таблиці [2,156] розраховані за формулами наступними формулами при значенні загального поправочного коефіцієнта  $k'=1$ , що призводить до завищених значень витрати і швидкості або занижених діаметрів труб, за яких можуть виникати аварійні ситуації [5,121].

Відносна швидкісна характеристика, що залежить від ступеня наповнення труби

$$B = k' \left( \frac{R'}{R'_n} \right)^{0,67}$$

Швидкість рідини у трубі

$$v = BW_n \sqrt{i},$$

де  $W_n$  – швидкісна характеристика труби при наповненні вщерть.

Таблиці [3,53] складені саме для самопливних трубопроводів, виконаних із пластмасових труб.

При складанні таблиць використані формули:

$$q = \omega \cdot v;$$

$$i = [\lambda_n / (4R)] \cdot [v^2 / (2g)],$$

де  $i$  – гідравлічний ухил;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $\lambda_{\pi}$  – коефіцієнт гідравлічного тертя труб:

$$\lambda_{\pi} = K \cdot \lambda_r,$$

де  $\lambda_r$  – коефіцієнт гідравлічного тертя гладких труб.

$\lambda_r$  при  $Re \leq 100\,000$  слід визначати за формулою Блазіуса.

$$\lambda_r = 0,3164/Re^{0,25}.$$

При  $Re \leq 100\,000$  - за формулою Прандтля-Никурадзе.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_r}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda_{\pi}}) - 0,8.$$

Для складання таблиць [4,44] за основу взяті ті ж формули, що і для складання таблиць [3,53]. Проте удосконалені у визначенні коефіцієнта гідравлічного тертя пластмасових труб при невеликих наповненнях. За основу взяті характеристики руху рідини саме у трубах «Корсіс».

$$q = \omega \cdot v;$$

$$i = \frac{\lambda_{\pi}}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g};$$

$$\lambda_{\pi} = K \cdot \lambda_r;$$

$$Re = v \cdot 4R/\nu,$$

де  $\nu$  – значення кінетичної в'язкості рідини. Це значення залежить від температури стічних вод. Наприклад, при температурі  $20^{\circ}$   $\nu = 1,03 \cdot 10^{-6} m^2/c$ . Коефіцієнт гідравлічного тертя для зони гідравлічно гладких труб при турбулентному русі рідини визначається за формулою Блазіуса.

Для співставлення таблиць гідравлічного розрахунку водовідвідних мереж проведені практичні розрахунки мережі водовідведення малого міста, яке розташоване на території України [7,195]. Населений пункт складається з 2-ох районів, які відрізняються кількістю жителів та ступенем благоустрою. Система каналізації роздільна. Побутові і промислові стічні води скидаються в одну каналізаційну мережу. Головний колектор подає стічну воду на головну каналізаційну насосну станцію, далі на каналізаційні очисні споруди. Виконано трасування водовідвідних мереж. Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі виконаний за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel. Вся мережа обраховувалася три рази за різними таблицями [2,156;3,53;4,44]. У таблиці 2 показано зіставлення діаметрів труб ( $d$ ), ухилів водовідвідної мережі ( $i$ ) та глибини закладання ( $h$ ) на прикладі головного колектору 0–9 відносно витрати стічної води [8,33].

**Порівняльні дані табличних значень  
діаметрів, ухилів та глибини закладання труб**

№ з/п	Витрата, л/с	[4]			[2]			[3]		
		d,мм	i	h,м	d,мм	i	h,м	d,мм	i	h,м
0-1	17,33	250	4	1.922	250	5	1.922	200	5	2.128
1-2	41,76	315	3,2	3.718	350	3	4.016	315	3.2	4.177
2-3	82,55	400	2,5	5.070	400	3	5.253	450	2.2	5.524
3-4	111,90	500	2	5.593	500	2	5.756	500	2	5.940
4-5	127,26	500	2	3.173	500	2	3.415	560	1.8	3.547
5-6	193,31	500	2	3.903	600	2	4.302	630	1.6	4.260
6-7	216,27	630	1,6	3.394	700	1.5	3.689	630	1.6	3.672
7-8	399,62	800	1,3	5.727	800	1.3	5.828	800	1.2	6.264
8-9	399,62	800	1,3	4.910	900	1.1	5.089	900	1.1	5.524

Більш детальні результати дослідження викладені в [8,33].

**Висновки:**

Всі таблиці розраховані за формулами рівномірного руху рідини. Проте в таблицях [2,156] для розрахунку для самопливних колекторів прийнятий коефіцієнт шорсткості  $n = 0,014$ . Тобто дані таблиці доцільно використовувати при застосуванні керамічних, бетонних чи залізобетонних труб для водовідвідної мережі.

Таблиці [3,53] розраховані за формулами при використанні коефіцієнта шорсткості для пластмасових труб. Отже, користуватися цими таблицями потрібно при побудові мережі з пластмасових труб.

Таблиці [4,44] удосконалені у визначенні коефіцієнта гідравлічного тертя пластмасових труб при невеликих витратах. За основу взяті характеристики руху рідини саме у трубах «Корсіс». Тобто дані таблиць доцільно обирати при розрахунку системи водовідведення яку планують будувати із гофрованих каналізаційних труб фірми «Корсіс».

Запропоновано в новій редакції джерела [1,210] внести уточнення і врахувати, що сучасні матеріали водовідвідних труб потребують внесення змін до класичного гідравлічного розрахунку.

Наведені рекомендації бажано враховувати при проектуванні та реконструкції мереж водовідведення.

**Список літератури**

1. ДБН В. 2.5. – 75 : 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. К.: МРРБ та ЖКГ України, 2013. 210 с.

2. *Лукиних А.А., Лукиних Н.А.* Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / 4-е изд, доп. М.: Стройиздат, 1974. 156 с.

3. *Карелин Я. А.* Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей из пластмассовых труб круглого сечения: справочное пособие. М.: Стройиздат, 1986. 53 с.

4. *Корсис.* Безнапорная и ливневая канализация: техническое руководство. К.: Группа поли пластик, 2011. 44 с.

5. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О.* Інженерна гідравліка. Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Видавничий Дім «Слово», 2006. 439 с.

6. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О.* Технічна механіка рідини і газу: Підручник. К.: Вища шк., 2002. 277 с.: іл..

7. *Калюжний А.П.* Економічне порівняння варіантів гідравлічного розрахунку мережі водовідведення // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. Вип.№1 (83). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. С. 193-196.

8. *Kalyuzhniy A.P.* Comparison of the hydraulic calculations tables networks sewerage // Сборник научных трудов «Energy, energy saving and rational nature use», 2015. Вып №2 (5) С.32-35.

9. *Аверкеев И.* Сравнительный анализ альтернативных методик гидравлического расчета канализационных трубопроводов из полимерных материалов // Журнал: «Полімерні труби – Україна» Вип.№4 (37). К: / Група поліпластик, 2015. С. 42-45.

*Надійшло до редакції 21.11.2016*