

## ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ БЕЗНАПІРНИХ ТРУБ ЗА РІЗНИМИ МЕТОДИКАМИ

© Орел В.І., 2004

Наведений порівняльний розрахунок пропускної здатності безнапірних труб за різними методиками. Надається перевага формулі (18) з огляду на повний діапазон зміни наповнення труби  $h/d$  від 0 до 1.

In paper the comparative computation of carrying capacity of gravity flow tubes on different procedures is presented. Gives preferences to the formula (18) proceed from full range of change of filling of tube  $h/d$  from 0 up to 1.

**Постановка проблеми.** Безнапірні трубопроводи круглого перерізу застосовують у водогосподарському будівництві (водовідвідні труби, гідротехнічні тунелі тощо). Їхня будівельна й експлуатаційна вартість багато в чому залежить від точності гідравлічного розрахунку [1].

**Аналіз досліджень.** У розрахунку безнапірних труб треба визначати такі гідравлічні характеристики потоку:

1. Витрата рідини (пропускна здатність)

$$Q = \omega \cdot V, \quad (1)$$

де  $\omega$  – площа живого перерізу,  $\omega = f_1(h/d)$ ;  $h/d$  – наповнення труби;  $h$  – висота рідини в трубі діаметром  $d$ .

2. Швидкість руху рідини за формулою Шезі

$$V = C\sqrt{R \cdot I}, \quad (2)$$

де  $I$  – гідравлічний похил;  $C$  – коефіцієнт Шезі, за формулою Павловського

$$C = \frac{R^y}{n}; \quad (3)$$

$n$  – коефіцієнт шорсткості, що приймається для самопливних колекторів круглого перерізу 0,014 [2, п. 2.29];  $R$  – гідравлічний радіус,

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (4)$$

$\chi$  – змочений периметр,  $\chi = f_2(h/d)$ .

Для проектування мереж водовідведення будівельні норми і правила [2, п. 2.29] рекомендують показник степеня  $y$  в формулі (3) розраховувати як для квадратичної області опору за формулою Павловського

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1), \quad (5)$$

яка при  $n = 0,014$  набуває вигляду [3]

$$y \approx 0,166 - 0,014\sqrt{R}. \quad (6)$$

При  $n = 0,010 \dots 0,016$  можна застосовувати формулу Маннінга

$$y = \frac{1}{6} \approx 0,166, \quad (7)$$

яка, порівняно з формулою (6), при  $d = 200 \dots 1500$  мм завищує результат з максимальною похибкою в 2,2–5,5 %.

За цією методикою було складено таблиці для гідравлічного розрахунку [3].

Гідравлічний похил  $I$  для самопливних трубопроводів, лотків і каналів допускається визначати за формулою [2, п. 2.29]:

$$I = \frac{\lambda V^2}{8gR}, \quad (8)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя по довжині,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left( \frac{\Delta}{13,68 \cdot R} + \frac{a_2}{Re} \right); \quad (9)$$

$\Delta$  – еквівалентна шорсткість (табл. 15, [2]);  $a_2$  – коефіцієнт, який враховує характер шорсткості труб і каналів (табл. 15, [2]);  $Re$  – число Рейнольдса.

Формули (8) та (9) придатні для всіх трьох зон опору турбулентного режиму течії, а формули (2) та (3) – тільки для швидкостей руху рідини, більших за 1,5 м/с [4, с. 21].

За цією методикою було складено таблиці для гідравлічного розрахунку [4].

Зв'язок між коефіцієнтом шорсткості  $n$  в формулі (3) та еквівалентною шорсткістю  $\Delta$ , в мм, в формулі (9) такий [4, с. 20]:

$$n = 0,0392 \cdot \sqrt[6]{\Delta}. \quad (10)$$

**Задачі досліджень.** Метою роботи є вироблення рекомендацій щодо точності гідравлічного розрахунку пропускної здатності безнапірних труб. Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати різні методики розрахунку.

**Розрахунок пропускної здатності безнапірних труб.** Формули (1) та (2) можна подати як частку від величин  $Q_{\Pi}$  та  $V_{\Pi}$  при повному наповненні труби [1, 5]:

$$Q = A \cdot Q_{\Pi}; \quad (11)$$

$$V = B \cdot V_{\Pi}, \quad (12)$$

де коефіцієнти

$$A = \frac{Q}{Q_{\Pi}} = B \cdot \frac{\omega}{\omega_{\Pi}} = B \cdot \frac{4\omega}{\pi d^2}; \quad (13)$$

$$B = \frac{V}{V_{\Pi}} = \left( \frac{R}{R_{\Pi}} \right)^{y+0,5} = \left( \frac{4R}{d} \right)^{y+0,5}. \quad (14)$$

Треба зазначити, що формула (14) відповідає квадратичній зоні опору. У загальному випадку ця формула запишеться так [6, с. 112]:

$$B = \left( \frac{R}{R_{\Pi}} \right)^{\frac{a+1}{b}}, \quad (15)$$

де  $a$  – показник степеня, що характеризує матеріал труб; для безнапірних потоків  $a = 2y$ ;  $b$  – показник степеня, що характеризує режим течії рідини: для ламінарного режиму  $b = 1$ ; для доквадратичної зони опору турбулентного режиму  $b = 1 \dots 2$ ; для квадратичної зони опору  $b = 2$ .

З урахуванням формули (8) у діапазоні  $0,25 < h/d < 0,80$  можна використовувати формулу Федорова [7, с. 194]

$$A_1 = 1,583 \cdot (h/d - 0,18). \quad (16)$$

Якщо використовувати так званий зведений гідравлічний радіус [1]

$$R_{зв} = k \cdot R, \quad (17)$$

де  $k$  – поправковий коефіцієнт, який враховує вплив форми поперечного перерізу потоку,  $k = f_3(h/d)$  [5, с. 218–219] (рис. 1), то коефіцієнт  $A$  набуває вигляду

$$A_2 = k \cdot B \cdot \frac{\omega}{\omega_{\Pi}} = k \cdot B \cdot \frac{4\omega}{\pi d^2}. \quad (18)$$

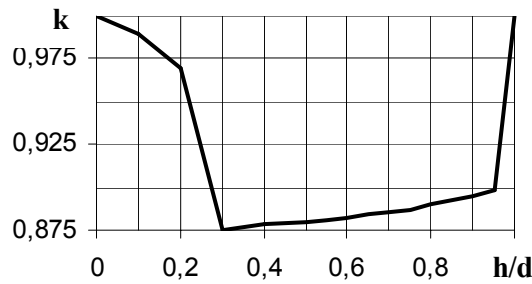


Рис. 1. Залежність  $k = f_3(h/d)$

Враховуючи [8], при наповненні  $h/d > 0,5$  розподіл швидкостей у нижній половині потоку не залежить від  $h/d$  та відповідає напірному потокові, і коефіцієнт опору тертя  $\lambda$  виражається, як для напірного потоку, через діаметр труби [9, с. 23]. Якщо враховувати, що повітря, яке є між вільною поверхнею рідини і внутрішньою поверхнею труби, а також хвилі, що спостерігаються на вільній поверхні, чинять опір руху рідини, то з цілком допустимою похибкою при  $0,5 \leq h/d \leq 1,0$  можна підрахувати швидкість за формулою для напірного потоку [9, с. 23]:

$$V_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{2gd}{\lambda_{\text{п}}}} \cdot I \approx \frac{0,4}{n} \cdot d^{2/3} \cdot \sqrt{I}. \quad (19)$$

Тут коефіцієнт опору тертя  $\lambda_{\text{п}}$  визначається за формулою Павловського [10, с. 38]:

$$\lambda_{\text{п}} = 8gn^2 \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{п}}}\right)^{2y} = 8gn^2 \cdot \left(\frac{4}{d}\right)^{2y}. \quad (20)$$

Тоді коефіцієнт  $A$  запишеться так:

$$A_3 = \frac{\omega}{\omega_{\text{п}}} = \frac{4\omega}{\pi d^2}, \quad (21)$$

або з урахуванням формули (19) – за формулою Федорова [7, с. 194] у діапазоні  $0,23 < h/d < 0,83$

$$A_4 = 1,33 \cdot (h/d - 0,15). \quad (22)$$

Залежність  $\omega/\omega_{\text{п}} = f(h/d)$  можна апроксимувати формулами [6, с.105]:

$$\omega/\omega_{\text{п}} = 1,33 \cdot (h/d)^{1,4}, \quad \text{при } 0,1 \leq h/d \leq 0,6; \quad (23)$$

$$\omega/\omega_{\text{п}} = (h/d)^{0,8}, \quad \text{при } 0,6 < h/d \leq 1,0, \quad (24)$$

що дає похибку, яка не перевищує 3,85 %, та формулою [7, с. 194]:

$$\omega/\omega_{\text{п}} = 1,2 \cdot (h/d - 0,085), \quad \text{при } 0,2 < h/d \leq 0,8, \quad (25)$$

що дає похибку, яка не перевищує 3,13 %.

Наведені випадки залежності  $A = f_4(h/d)$  показано на рис. 2. Як видно з цього рисунка, формули (7) і (9) дають завищені значення витрати в трубі.

Формули (18), (21) і (22) придатні для різного діапазону обчислення, але, ґрунтуючись на різних підходах, при визначенні коефіцієнта  $A$  збігаються при  $0,6 \leq h/d \leq 1,0$ . Найпростішою для обчислення є формула (22), в якій коефіцієнт  $A = f_4(h/d)$  в явному вигляді.

Формула (18) враховує вплив форми поперечного перерізу потоку [1, 5], а формула (21) дозволяє визначати витрату потоку (при  $h/d \geq 0,5$ ) за середньою швидкістю  $V_{\text{сер}}$ , виміряній в одній точці на віддалі від стінки  $y_v \approx 0,115 \cdot d$  [9].

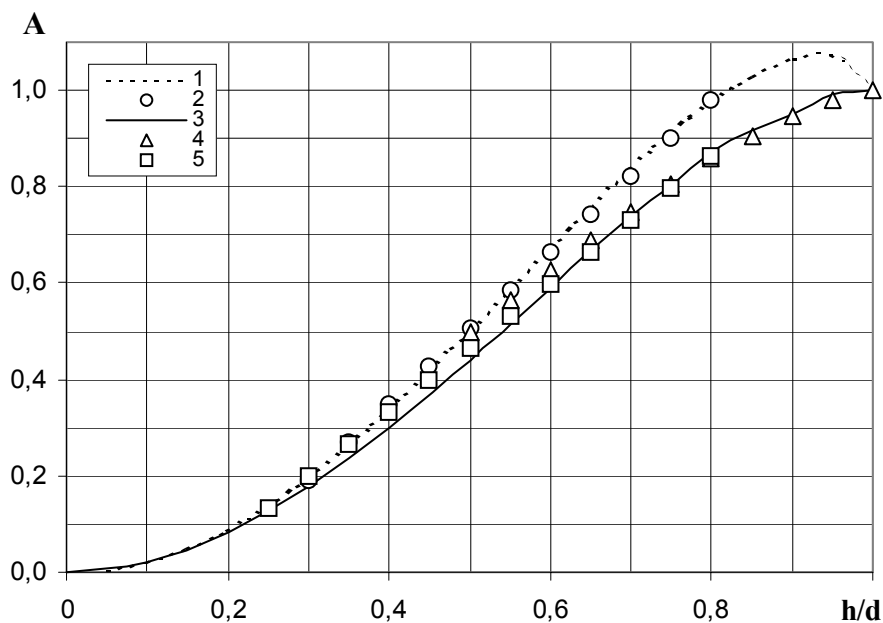


Рис. 2. Залежність  $A = f_4(h/d)$ :

- 1 – формула (13) з урахуванням формули (7); 2 – формула Федорова (16);  
 3 – формула Константінова-Сапухіна (18); 4 – формула Курганова (21);  
 5 – формула Федорова (22)

При  $h/d = 1$  за витратою, що визначена за формулами (16) та (22), можна обчислити похил трубопроводу круглого поперечного перерізу [7, с. 191]:

$$i_0 = \frac{t \cdot Q_n^n}{d^m}, \quad (26)$$

де  $t$  – коефіцієнт,  $t = f_5(d)$ ;  $m, n$  – показники степеня,  $n = f_6(d)$ ,  $m = f_7(d)$

	$t$	$n$	$m$
при $d \leq 0,6$ м	0,00179	1,92	5,2
при $d > 0,6$ м	0,00214	1,96	5,2

Зауважимо, що витрата рідини в трубопроводі, що працює неповним перерізом, є меншою, ніж при його повному наповненні. Порівняно з витратою в трубопроводі при рівномірному русі є можливість збільшення пропускної здатності в ньому шляхом утворення перепаду в його кінці, тобто переходу до нерівномірного руху [9, с. 43]. Це може пояснити факт одержання в деяких експериментальних дослідженнях, наприклад [8], більших витрат при неповному наповненні, ніж при повному [9, с. 43].

**Висновки.** Методи розрахунку гідравлічних характеристик потоку, які є відмінними від тих, що наводяться в будівельних нормах і правилах [2], дають більшу точність гідравлічного розрахунку. Для практичного застосування при визначенні витрати рідини в безнапірних трубах можна рекомендувати формули (17) та (18) [1, 5] з огляду на повний діапазон зміни наповнення труби  $h/d$  від 0 до 1.

1. Сапухин А.А. Расчет пропускной способности безнапорных труб // Гидравл. и гидротехн.: Республ. межведом. науч.-техн. сб. – 1986. – Вып. 43. – С. 55–59. 2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения // Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с. 3. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. – М.: Стройиздат, 1974. – 156 с. 4. Федоров Н.Ф., Волков Л.Е. Гидравлический расчет канализационных сетей. Расчетные таблицы. – М.: Госстройиздат, 1961. – 254 с. 5. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу: Підручник. –

К.: Вища шк., 2002. – 277 с. 6. Добромислов А.Я. Расчет и конструирование систем канализации зданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 120 с. 7. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / Под общ. ред. А.М. Курганова. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с. 8. Дрягина Е.С. Экспериментальное исследование зависимостей расхода, средней скорости и числа Рейнольдса от глубины наполнения трубопровода при турбулентном режиме движения жидкости // Сан. техника: Докл. I науч. конф. молодых учёных-строит. – Л.: ЛИИСИ, 1965. – С. 7–15. 9. Курганов А.М. Закономерности движения воды в дождевой и общесплавной канализации. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с. (Наука – строит. пр-ву). 10. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища шк., 1984. – 343 с.

УДК 624.014.25(088.8)

А.Я. Пенцак

Національний університет “Львівська політехніка”  
кафедра будівельного виробництва

## ВРАХУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ВЕРХНЬОГО ПОЯСУ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ КОМБІНОВАНОЇ МЕТАЛОДЕРЕВ'ЯНОЇ ФЕРМИ

© Пенцак А.Я., 2004

**Проаналізовано сучасні дослідження в царині врахування попередніх напружень на несучу здатність елементів металевих та металодерев'яних конструкцій. Запропоновано нову несучу комбіновану металодерев'яну балкову конструкцію, регулювання напружено-деформованого стану якої виконується без її попереднього напруження. Таке регулювання базується на методиці розрахунку конструкції за деформованим станом. Розроблено методику розрахунку металодерев'яної балкової системи з врахуванням її деформованого стану.**

**In the article modern researches are analyzed in the region of account of previous tensions on bearing one ability of elements of metallic that steel-wood constructions. A new bearing is offered the combined steel-wood beam construction adjusting of the tensions being of which is executed without its previous tension. Such adjusting is based on the method of calculation of construction after the deformed being. The method of calculation of the steel-wood beam system is developed taking into account its deformed being.**

**Постановка задачі.** Розробка нових конструкцій має на меті покращити відомі конструкції передусім у сенсі зменшення їх вартості. Також при цьому враховують функціональні та естетичні показники – адже прогини балкових несучих конструкцій обмежені нормами [1]. Покращання економічних показників досягають регулюванням напружено-деформованого стану балкових несучих конструкцій, яке тепер виконують за допомогою їх попереднього напруження. Цьому питанню присвячена праця [2].

**Стан проблеми.** Недоліком цього напрямку регулювання напружено-деформованого стану конструкцій є те, що тут належно не враховані додаткові затрати на попереднє напруження.

Це пояснюється тим, що у колишньому СРСР ціни на працю та енергію мали символічне значення. Але нині, коли все має свою справжню ціну, ігнорувати затрати праці та енергії неприпустимо. Та позбутися попереднього напруження конструкцій під час регулювання їх напружено-деформованого стану за умови розрахунку конструкцій за недеформованою схемою неможливо. Це тому, що за допомогою попереднього напруження вибирати надмірні деформації конструкцій, які виникають у них при розрахунку за недеформованим станом.