

6. ДБН А.2.1-1-2008 Вишукування, проєктування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва, затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 05.02.2008 № 5.

7. ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016 Настанова з виконання робіт при будівництві мостів та труб, затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 28.04.2016 № 106.

8. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016 Настанова з проєктування дренажних конструкцій мілкового закладання на автомобільних дорогах, затверджений наказом від 01.07.2016 № 202.

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ОТВОРУ ПРЯМОКУТНОЇ ДОРОЖНЬОЇ ТРУБИ**

Золотарьов Є.С., Онищенко О.С.

(науковий керівник к.т.н., доц. Мусієнко І.В.)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

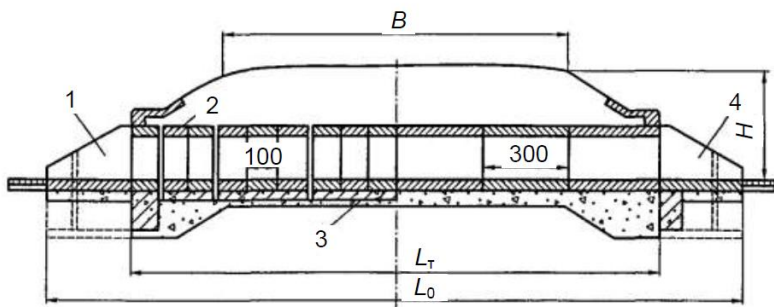
Автоматизоване проєктування, зокрема системи автоматизованого проєктування (надалі САПР) грають важливу роль в сучасному виробництві всіх видів проєктної документації. Автоматизовані розрахунки торкнулися і розрахунку дорожніх водопропускних труб. Тому напрямок роботи з автоматизації розрахунку водопропускних споруд є актуальним. В статті було продовжено автоматизований розрахунок дорожніх водопропускних труб у програмі УКРРВС в області розрахунку прямокутних дорожніх водопропускних труб.

Водопропускні труби класифікуються за рядом ознак [1]:

- наявності і конструкції окремих елементів (оголовків, стикових з'єднань і ін.);
- формою і розміром поперечного перерізу;
- гідравлічного режиму роботи і характером протікання води;
- матеріалу труб;
- способу укладання труби;
- несучої здатності;
- ухилу дна труби;
- кількості отворів;
- числу ярусів труб;
- довжині ланок і ширині вихідного оголовка труб.

Трубчасті водопропускні споруди складаються з трьох основних ділянок: верхового, представленого вхідним оголовком; середнього, що включає одну або кілька труб і дорогу; низового, до складу якого входять оголовки з боку нижнього б'єфу, водобій, гасителі, рісберми і кінцевий пристрій. З них в якості основних елементів можна виділити вхідний і вихідний оголовки, водопровідна (середня) частина або тіло труби, фундамент, що підводить і відводить русло (рис. 1). Іноді, при перетинанні з дорогою нижчої категорії, трубчасті споруди, можуть мати спрощену конструкцію – без оголовків і пристроїв нижнього б'єфу.

За формою поперечного перерізу труби можуть бути круглі, прямокутні, овоїдальні, еліптичні, арочні, поліцентричні (рис. 2). Досить рідко вони можуть мати трикутну, трапецеїдальну (тільки дерев'яні) та ін. форми. В основному на дорогах експлуатують: круглі труби – 87 %, прямокутні – 9 %, інші – 4 % [1].

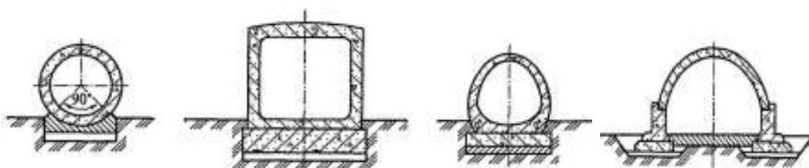


- 1 – вхідний оголовок; 2 – тіло (ланки) труби;  
3 – фундамент; 4 – вихідний оголовок

Рисунок 1 – Елементи водопропускної труби на автомобільній дорозі [1]

Для реалізації алгоритму розрахунку пропускної спроможності прямокутних водопропускних дорожніх труб потрібні наступні вихідні дані:

- довжина труби, м;
- ухил лотка труби (відповідає ухилу логу);



- а – кругла; б – прямокутна; в – овоїдальна; г – склепінчаста

Рисунок 2 – Розповсюджені типи поперечних перерізів залізобетонних труб [1]

- тип оголовку;
- розрахункова витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- прискорення вільного падіння  $g=9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ;
- коефіцієнт шорсткості  $n$ .

Потрібно підібрати отвір труби, визначити підперту глибину, глибину на вході, глибину і швидкість води на виході, тип і розміри зміцнення русла на виході з труби.

Алгоритм розрахунку пропускної спроможності прямокутних водопропускних дорожніх труб:

1) знаходимо отвір труби,  $b$ ;

– відповідно до [2] прямокутні труби повинні пропускати розрахункові та найбільші витрати при без напірного режимі та мати при цьому заповнення на вході [2]:

при пропуску розрахункової витрати  $\Pi_{Q(p)} - \frac{h_{\text{вх}}}{h_{\text{т}}} \leq 0,833$ ,

де  $h_{\text{вх}}$  – глибина потоку на вході у трубу;

$h_{\text{т}}$  – висота труби;

– визначаємо параметри витрати для прямокутних труб в залежності від типу оголовку (таблиця 1):

– визначаємо висоту труби:

якщо  $Q < 10 \text{ м}^3/\text{с}$ , висота труби  $h_{\text{т}} = 1,5 \text{ м}$ ;

якщо  $10 \leq Q \leq 20 \text{ м}^3/\text{с}$ , висота труби  $h_{\text{т}} = 2 \text{ м}$ ;

якщо  $Q > 20 \text{ м}^3/\text{с}$ , висота труби  $h_{\text{т}} = 2,5 \text{ м}$ ;

Таблиця 1 – Параметри витрати  $\Pi_Q$  для прямокутних труб та коефіцієнт витрати [2]

№	Тип оголовку	$\Pi_{Q(p)}$	$\Pi_{Q(\text{макс})}$	m
1	Портальний	0,420	0,560	0,31
2	Комірний з $\alpha_p=0^\circ$	0,565	0,588	0,315
3	Розтрубний з $\alpha_p=10^\circ$	0,570	0,620	0,36
4	Розтрубний з $\alpha_p=20^\circ$	0,580	0,665	0,36
5	Розтрубний з $\alpha_p=30^\circ-45^\circ$	0,525	0,645	0,35

– знаходимо отвір труби з формули для безрозмірного параметра витрати на вході у прямокутну трубу [2]:

$$b_p = \frac{Q_p^{0,857}}{2,66 \cdot \Pi_{Q(p)}^{0,857} \cdot h_{\text{т}}^{1,142}} \quad (1)$$

– типові значення отворів прямокутних залізобетонних труб: 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 м; отримане за формулами значення отвору округляємо до найближчого більшого типового;

2) визначаємо глибину води на вході у трубу  $h_{\text{вх}}$  (при визначенні глибини води на вході необхідно враховувати тип оголовка: порталний –  $t = 1$ ; розтрубний з  $\alpha_p=10^\circ$  –  $t = 4$ ; розтрубний з  $\alpha_p=20^\circ$  –  $t = 3$ ; розтрубний з  $\alpha_p=30^\circ-45^\circ$  –  $t = 2$ ; комірний –  $t = 5$ , де  $t$  – параметр для вибору потрібної формули), м [2]:

$$\text{при } t = 1 \rightarrow h_{\text{вх}} = h_{\text{т}} \cdot (4,3896 \cdot \Pi_{Q(p)}^3 - 5,3336 \cdot \Pi_{Q(p)}^2 + 3,4509 \cdot \Pi_{Q(p)} + 0,0009)$$

$$\text{при } t = 2 \rightarrow h_{\text{вх}} = h_{\text{т}} \cdot (13,375 \cdot \Pi_{Q(p)}^4 - 11,002 \cdot \Pi_{Q(p)}^3 - 0,106 \cdot \Pi_{Q(p)}^2 + 2,7315 \cdot \Pi_{Q(p)} + 0,0016)$$

$$\text{при } t = 3 \rightarrow h_{\text{вх}} = h_{\text{т}} \cdot (23,951 \cdot \Pi_{Q(p)}^4 - 22,432 \cdot \Pi_{Q(p)}^3 + 3,5063 \cdot \Pi_{Q(p)}^2 + 2,2685 \cdot \Pi_{Q(p)} + 0,0038) \quad (2)$$

$$\text{при } t = 4 \rightarrow h_{\text{вх}} = h_{\text{т}} \cdot (11,404 \cdot \Pi_{Q(p)}^4 - 5,8484 \cdot \Pi_{Q(p)}^3 + 2,3313 \cdot \Pi_{Q(p)}^2 + 2,6278 \cdot \Pi_{Q(p)} + 0,0011)$$

$$\text{при } t = 5 \rightarrow h_{\text{вх}} = h_{\text{т}} \cdot (18,93 \cdot \Pi_{Q(p)}^4 - 10,751 \cdot \Pi_{Q(p)}^3 - 0,0998 \cdot \Pi_{Q(p)}^2 + 1,7986 \cdot \Pi_{Q(p)});$$

3) визначаємо критичну глибину [2]:

якщо швидкості у всіх точках перерізу потоку однакові, коефіцієнт Коріоліса  $\alpha = 1$ ; фактично швидкості в окремих точках перерізу різні,  $\alpha > 1$ . Зазвичай при розрахунках споруд та відкритих русел приймають  $\alpha = 1.1$  [2]:

$$h_{\text{к.р}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot \left(\frac{Q_p}{b}\right)^2}{g}}; \quad (3)$$

4) розраховуємо критичний ухил  $i_k$  [2]:

– розраховуємо змочений периметр при  $h_k$ , м [2]:

$$\chi_{k,p} = 2 \cdot h_{k,p} + 2 \cdot b, \quad (4)$$

– розраховуємо площу живого перерізу при  $h_k$ , м<sup>2</sup> [2]:

$$\omega_{k,p} = b \cdot h_{k,p}, \quad (5)$$

– розраховуємо гідравлічний радіус, м [2]:

$$R_{k,p} = \frac{\omega_{k,p}}{\chi_{k,p}}; \quad (6)$$

– розраховуємо показник ступеню [2]:

$$y_{k,p} = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R_{k,p}} \cdot (\sqrt{n} - 0,1); \quad (7)$$

– розраховуємо коефіцієнт Шезі за формулою Павловського [3]:

$$C_{k,p} = \frac{R_{k,p}^{y_{k,p}}}{n}; \quad (8)$$

– критичний ухил

$$i_{k,p} = \frac{Q_p^2}{\omega_{k,p}^2 \cdot C_{k,p}^2 \cdot R_{k,p}}; \quad (9)$$

при  $i_k < i_T$  труби будь-якої довжини є «короткими» в гідравлічному відношенні;

5) визначаємо підперту глибину Н

при безнапірному режимі підперту глибину слід визначати за формулою, м [2]:

$$H_{\text{рб}} = \left( \frac{Q_p}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (10)$$

де  $m$  – коефіцієнт витрати при безнапірному режимі роботи труби, табл. 3.1; у табл. 2 наведено значення коефіцієнта витрати  $m$  для ухилу труби  $i_T=0.01$ . При інших значеннях ухилу  $m$  визначається за такою формулою [2]:

$$m = m_{\text{табл.}} \cdot [1 + 2 \cdot (i_T - 0,1)], \quad (11)$$

– уточнюємо режим протікання потоку:

якщо  $H_p/h_T < 1.1$  режим безнапірний;

якщо  $H_p/h_T > 1.1$  - режим напівнапірний або напірний.

### Література

1. Алтунин, В.И. Гидравлические расчёты водопропускных труб на автомобильных дорогах: учеб. пособие / В.И. Алтунин, Т.А. Суэтина, О.Н. Черных. – Москва: МАДИ, 2016. 92 с.

2. Лупина Т.А. Гидравлический расчет дорожных водопропускных труб в системе MathCAD: Методические указания. Москва: МИИТ, 2012. 56 с.

3. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/52/52565/index.htm#i727628> (дата звернення 1.04.2022).