

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ¹

У даній статті наведені алгоритми розрахунку та їх програмна реалізація на макромові MathCAD стандартних елементів профілів каналів спеціального поперечного перерізу; йде мова про актуальність використання сучасних технічних засобів, які дають змогу вивести на якісно новий рівень гідравлічні розрахунки.

Вступ

У процесі розвитку науки та дорожньо-будівельної галузі зокрема, невідмінно змінюються методи розв'язання інженерних задач, вимоги до яких зростають з вдосконаленням технічних засобів, з допомогою яких ці задачі вирішуються.

Актуальність

Сьогодні питання дорожнього будівництва – пріоритетне питання для України. Адже автомобільні дороги – важлива складова транспортної системи держави. Стан їх розвитку значною мірою впливає на соціально-економічний розвиток країни. Тому основним завданням інженерів, конструкторів, науковців, що працюють в дорожній галузі, є перехід від консервативних засобів виконання інженерних робіт до новітніх з метою вдосконалення, та автоматизації процесів будівництва, експлуатації та ремонту доріг.

У сучасному дорожньому будівництві широке застосування мають труби спеціального поперечного профілю. Для їх надійної та довгої служби необхідно чітко та правильно розрахувати розміри труб.

¹ *Науковий керівник*

професор кафедри мости і тунелі Цивін М. Н.

Під час розрахунку труб, колекторів виникає необхідність знаходження значень таких гідравлічних характеристик потоку як глибина наповнення h_0 , швидкість руху води у каналі v_0 , критична глибина h_k та інших.

Для розрахунку чисельних значень вказаних величин використовують такі розрахункові залежності:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad (1)$$

Q – величина пропускної витрати;

$C = \frac{1}{n} R^y$ коефіцієнт Шезі;

n – коефіцієнт шорховатості;

$R = \frac{\omega}{\chi}$ гідравлічний радіус;

χ – змочений периметр;

$y = f(R; n)$ показник степені,

і рівняння

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{\omega_k^3}{B_k} \quad (2)$$

B – довжина потоку поверху.

Ліва частина рівняння (1) є функцією від глибини наповнення h і не може бути розв'язана відносно глибини h навіть для простих перерізів (прямокутного, трикутного, параболічного).

Права частина рівняння (2), яке використовується для знаходження критичної глибини потоку, також є функцією глибини потоку, і воно може бути розв'язане відносно глибини h , але тільки для найпростіших форм поперечного перерізу.

Для типів русел, що показані на рис.1, задача гідравлічного розрахунку викликає труднощі, тому для визначення геометричних характеристик живого перерізу потоку наводяться, як правило, графіки [2], котрі характеризують такі функції: $\omega(h)$, $\chi(h)$, $B(h)$.

Отже, на практиці поставлена задача досі вирішується за допомогою графіків, що не раціонально, адже отримуємо результат мінімальної точності, витрачаючи максимум зусиль та часу.

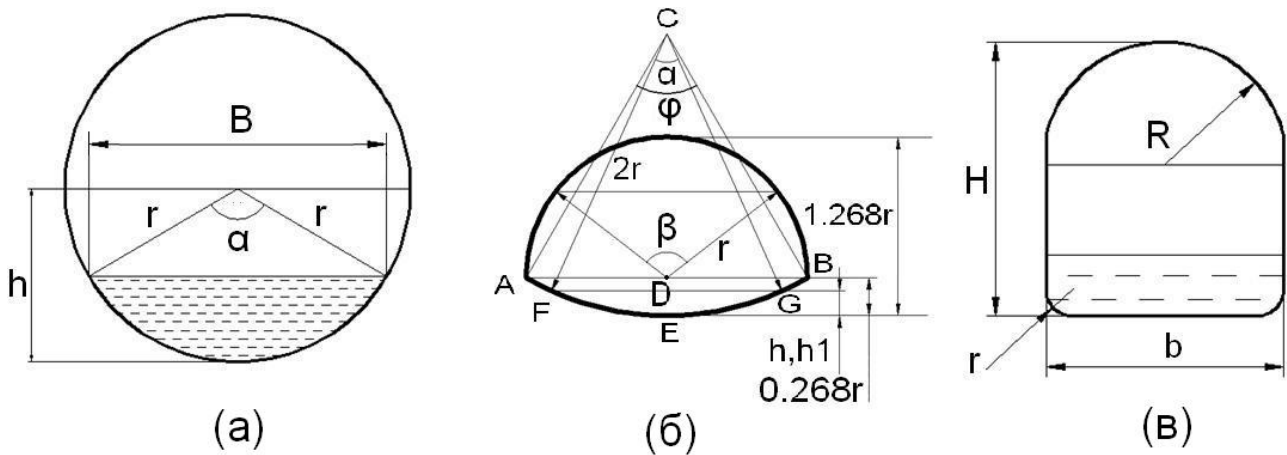


рис. 1

Для водовідведення використовують водопропускні споруди різного профілю. Розглянемо деякі типи русел.

Русло кругового поперечного перерізу (рис. 1.а).

Для розрахунку труб, тунелів та колекторів кругового поперечного перерізу радіусом r (рис. 1.а) використовують такі залежності:

$$\omega = \frac{1}{2}(\alpha - \sin \alpha)r^2 \text{ площа поперечного перерізу,}$$

де α - центральний кут сегмента.

$$\chi = \alpha r \text{ змочений периметр;}$$

$$B = 2\sqrt{r^2 - h^2} \text{ ширина потоку поверху;}$$

$$h = 2r \sin\left(\frac{\alpha}{4}\right)^2 \text{ глибина потоку.}$$

Нижче наведений розрахунок труби кругового поперечного перерізу за допомогою програми MathCAD (рис.2).

Русло лоткового поперечного перерізу (рис 1.б)

Цей профіль – комбінація двох фігур – нижня – сегмент радіусом $2r$ і граничною висотою $0.268r$ та верхня – півколо радіусом r (рис 1.б). Нижче представлений алгоритм програми для розрахунку такого профілю.

Вихідними даними для розрахунку є величина радіуса r та глибина наповнення h .

r - радіус, h - висота наповнення труби

$r := 1$ $h := 2$

$\omega :=$ $\left| \begin{array}{l} \text{"Обрахувати неможливо. Задані невірні значення"} \text{ if } 0 > h \vee h > 2r \\ \text{otherwise} \\ \quad \alpha \leftarrow \pi \\ \quad \alpha_1 \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{r-h}{r}, \alpha\right) \\ \quad \alpha_2 \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{h-r}{r}, \alpha\right) \\ \quad S1 \leftarrow \frac{1}{2}r^2 \cdot \alpha_1 - (r-h) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \cdot r \\ \quad S2 \leftarrow \pi \cdot r^2 - \frac{1}{2}r^2 \cdot \alpha_2 + (h-r) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) \cdot r \\ \quad S1 \text{ if } h \leq r \\ \quad S2 \text{ otherwise} \end{array} \right.$

$\omega = 3.14159$

ω - площа живого перерізу

рис. 2

Алгоритм розрахунку площі поперечного перерізу каналу лоткового типу

1. Початок.
2. Задаємо радіус r та висоту наповнення труби h .
3. Якщо $h < 0$ чи $h > 1.268r$, то повертаємось до пункту 2, тому що задані значення не мають фізичного змісту. Інакше

4. Якщо глибина наповнення $h \leq 0.268r$, то виконується пункт 5.

5. Площу поперечного перерізу обраховуємо за формулою:

$$S = \frac{1}{2}(2r)^2\alpha - (2r - h) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) 2r,$$

де $\frac{1}{2}(2r)^2\alpha$ - площа сектора FDG,

$(2r - h) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) 2r$, де

$(2r - h)$ - висота трикутників,

$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) 2r$ - основа.

α обраховуємо за формулою:

$$\alpha = 2\arccos\frac{2r-h}{2r}.$$

Інакше, при глибині наповнення $h > 0.268r$, виконується пункт 6.

6. Площа дорівнюватиме:

$$S = \frac{\pi r^2}{2} - \frac{1}{2}r^2\beta + (h - 0.268r) \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)r + \frac{1}{2}(2r)^2\varphi - (2r - 0.268r) \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) 2r$$

,

де $\frac{\pi r^2}{2}$ - площа півкола,

$\frac{1}{2}r^2\beta$ - площа сектора,

$(h - 0.268r) \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)r$ - площа двох рівних прямокутних трикутників,

$\frac{1}{2}(2r)^2\varphi - (2r - 0.268r) \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) 2r$ - площа сегмента AEB.

7. Кінець.

Пропонуємо реалізувати цей алгоритм, використовуючи математичний комп'ютерний пакет MathCAD, який, крім інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та можливістю легкого редагування формул, головною перевагою має близький до загальноприйнятого в математиці синтаксис. Лістинг програми для розрахунку площі поперечного перерізу каналу лоткового поперечного перерізу у середовищі MathCAD наведено нижче (рис.3).

r - радіус, h - висота наповнення труби

$$r := 100 \quad h := 100$$

```

 $\omega :=$  | "Обрахувати неможливо. Задані невірні значення" if  $0 > h \vee h > 1.268 \cdot r$ 
      | otherwise
      |  $\alpha \leftarrow \pi$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{2r - h}{2r}, \alpha\right)$ 
      |  $\alpha_2 \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{h - 0.268 \cdot r}{r}, \alpha\right)$ 
      |  $\alpha_{1,2} \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{2r - 0.268 \cdot r}{2r}, \alpha\right)$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \alpha_1 \wedge h_1 \leftarrow h$  if  $h \leq 0.268 \cdot r$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \alpha_{1,2} \wedge h_1 \leftarrow 0.268 \cdot r$  otherwise
      |  $S1 \leftarrow \frac{1}{2} (2r)^2 \cdot \alpha_1 - (2r - h_1) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \cdot 2r$ 
      |  $S2 \leftarrow \frac{\pi \cdot r^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \alpha_2 + (h - 0.268 \cdot r) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) \cdot r + S1$ 
      |  $S1$  if  $h \leq 0.268r$ 
      |  $S2$  otherwise

 $\omega = 16824.1379$ 

```

ω - площа живого перерізу

рис. 3

Спеціальний профіль II (типовий профіль дериваційних тунелів) (рис.1.в).

**Алгоритм розрахунку
площі поперечного перерізу
каналу спеціального профілю II
(типового профілю дериваційних тунелів)**

1. Початок.

2. Задаємо радіуси r та R , висоту наповнення труби h , висоту каналу H , ширину каналу b .

3. Якщо $h < 0$ чи $h > H$, то повертаємось до пункту 2, тому що задані значення не мають фізичного змісту. Інакше виконується пункт 4.

4. Якщо глибина наповнення $h \leq 0.15b$, то виконується пункт 5.

5. Площу поперечного перерізу обраховуємо за формулою:

$$S = \frac{1}{2}r^2\alpha - (r - h)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (b - 2r)h,$$

α визначається за формулою:

$$\alpha = 2\arccos\frac{r-h}{r}.$$

Інакше, при глибині наповнення $0.15b < h \leq (H - R)$, виконується пункт 6.

6. Площа дорівнюватиме:

$$S = (h - r)b + \frac{\pi r^2}{2} + (b - 2r)0.15b,$$

Якщо $h > (H - R)$, то виконується пункт 7.

7. Площу розраховуємо так:

$$S = \frac{\pi r^2}{2} - \frac{1}{2}R^2\alpha + \left(h - (H - R)\sin\frac{\alpha}{2}R\right) + S_1,$$

$$\text{де } S_1 = ((H - R) - r)B + \frac{\pi r^2}{2} + (B - 2r)0.15b$$

$$\alpha = 2\arccos\frac{h-(H-R)}{R}$$

8. Кінець.

Нижче – приклад розрахунку площі поперечного перерізу каналу спеціального профілю II у середовищі MathCAD (рис. 4).

R та r - радіуси, h - висота наповнення труби, H - висота каналу, b - ширина каналу

```

 $\omega :=$  | "Обрахувати неможливо. Задані невірні значення" if  $0 > h \vee h > H$ 
      | otherwise
      |  $h_1 \leftarrow h$  if  $h \leq 0.15 \cdot b$ 
      |  $h_1 \leftarrow 0.15 b$  otherwise
      |  $\alpha \leftarrow \pi$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \text{root}\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{r - h_1}{r}, \alpha\right)$ 
      |  $\alpha_2 \leftarrow \text{root}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{h - (H - R)}{R}, \alpha\right]$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \alpha_1$  if  $h \leq 0.15 \cdot b$ 
      |  $\alpha_1 \leftarrow \pi$  otherwise
      |  $h_2 \leftarrow h$  if  $0.15 \cdot b < h \leq (H - R)$ 
      |  $h_2 \leftarrow H - R$  otherwise
      |  $S1 \leftarrow \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \alpha_1 - (r - h_1) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) + (b - 2 \cdot r) \cdot h_1$ 
      |  $S2 \leftarrow (h_2 - r) \cdot b + S1$ 
      |  $S3 \leftarrow \frac{\pi \cdot R^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \alpha_2 + (h - h_2) \cdot \sin\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) \cdot R + S2$ 
      |  $S1$  if  $h \leq 0.15 \cdot b$ 
      |  $S2$  if  $0.15 \cdot b < h \leq (H - R)$ 
      |  $S3$  otherwise
    
```

$\omega = 84.21667$

ω - площа живого перерізу

рис. 4

Висновок

Використовуючи даний спосіб розрахунку каналу спеціального поперечного профілю, відмовляємось від використання монограм, таблиць, графіків, які пропонуються у довідковій літературі. Це дає змогу швидко розрахувати канал спеціального профілю з максимальною точністю.

Список використаної літератури

1. Справочник по гидравлике/ Под ред. В. А. Большакова. - К.: «Вища школа», 1977.
2. Справочник по гидравлическим расчётам/ Под ред. П. Г. Киселёва. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1972.
3. Чугаев Р. Р. Гидравлика. - Ленинград.: «Энергия», 1971.