

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

03-03-203М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни **«Штучні споруди на
автомобільних дорогах та аеродромах»**
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою
«Будівництво та цивільна інженерія»
спеціальності 192 **«Будівництво та цивільна інженерія»**
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 5 від 11.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни **«Штучні споруди на автомобільних дорогах та аеродромах»** для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою **«Будівництво та цивільна інженерія»** спеціальності 192 **«Будівництво та цивільна інженерія»** денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Павлюк А. П. – Рівне : НУВГП, 2025. – 22 с.

Укладач: Павлюк А. П., канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів.

Відповідальний за випуск: Кузло М. Т., д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Караван В. В.

© А. П. Павлюк, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Вступ	4
1. Визначення абсолютної відмітки розрахункового рівня високої води.....	4
1.2 Знаходження витрат в русловій та заплавної частинах річкового перерізу.....	8
1.3 Визначення повноти розрахункової повені.	11
1.4 Визначення обмеження максимальної глибини розмивання в підмостовому руслі.	13
2. Задачі для самостійної роботи студентів	16
Рекомендована література.....	20

Вступ

Освітньою програмою та силабусом 03-03-185S з навчальної дисципліни «Штучні споруди на автомобільних дорогах та аеродромах» передбачено практичну та самостійну роботи студентами. Практична складова підготовки полягає у виконанні задач, що стосуються штучних споруд. Дані методичні вказівки розроблені для виконання практичної та самостійної роботи студентами.

Мета навчальної дисципліни: дати студентам теоретичні знання та практичні навички з проектування штучних споруд на автомобільних дорогах та аеродромах.

Завдання навчальної дисципліни: навчити студентів принципам і правилам влаштування та проектування штучних споруд на автомобільних дорогах та аеродромах у різних геологічних і гідрогеологічних умовах.

В методичних вказівках наведені приклади виконання типових задач, які є складовою практичної підготовки здобувачів освіти. Теоретична частина до виконання задач в тому числі із довідковими даними та таблицями наведена в посібнику [17].

1. Визначення абсолютної відмітки розрахункового рівня високої води.

Задача 1. За наведеними даними в таблиці 1 про перевищення максимальних річних рівнів повеневої води H у річковій долині над умовним нулем графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г.}$ за період гідрометричних спостережень тривалістю 13 років (з 2000 по 2012 роки) визначити абсолютну відмітку розрахунковго рівня високої води $PPBV$ графоаналітичним способом із використанням клітковини ймовірностей. Категорія дороги – II.

Таблиця 1

Вихідні дані до задачі 1

Перевищення максимальних річних рівнів повеневої води H (см) над умовним нулем графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г.}$ за період гідрометричних спостережень 2000-2012 рр.												Відмітка абс. нуля графіка водомір. поста $\nabla H_{н.г.}, м$	Категорія дороги	
760	990	710	1000	940	880	810	610	930	760	930	960			960
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
													90,0	II

Розв'язання.

1. Визначаємо розрахункову ймовірність перевищення з табл. 1.6 ДБН В.2.3-14:2006«Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування» [4] як для автомобільної дороги II-ої категорії $\rightarrow p=1\%$.

2. Будуємо діаграму максимальних річних рівнів води в хронологічному порядку (див. рис. 1).

3. Будуємо діаграму максимальних річних рівнів води в хронологічному порядку (див. рис. 2).

4. Визначаємо емпіричну ймовірність перевищення кожного з максимальних рівнів води у ранжированому ряді за формулою М.М. Чегодаєва

$$p_e = ((m-0,3)/(n+0,3)) \times 100\% \quad (1)$$

Використовуючи формулу 1 виконуємо розрахунок емпіричних імовірностей перевищення максимальних річних рівнів для кожного з років в убуваючому порядку. Дані вносимо в таблицю 2.

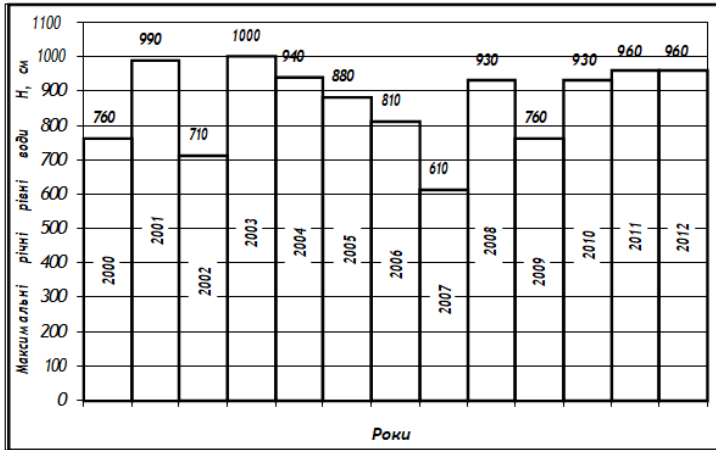


Рис. 1. Діаграма перевищень максимальних річних рівнів води H (см) над нулем графіка водомірного поста в хронологічному порядку

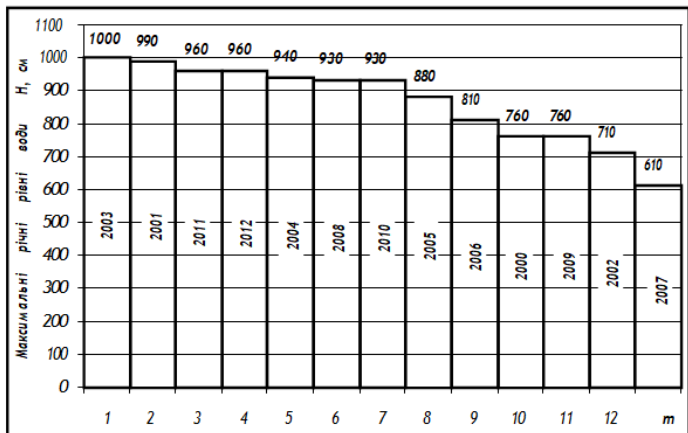


Рис. 2. Діаграма перевищень максимальних річних рівнів води H (см) над нулем графіка водомірного поста в убуваючому порядку

Таблиця 2

Розрахунок емпіричних імовірностей перевищення
максимальних річних рівнів повеневої води у
ранжированому ряді

n	m	Рік	H , см	p_e , %
13	1	1963	1000	5,22
	2	1961	990	12,69
	3	1971	960	20,15
	4	1972	960	27,61
	5	1964	940	35,07
	6	1968	930	42,54
	7	1970	930	50,00
	8	1965	880	57,46
	9	1966	810	64,93
	10	1960	760	72,39
	11	1969	760	79,85
	12	1962	710	87,31
	13	1967	610	94,78

5. За отриманими в таблиці 2 даними будемо криву нормального розподілу на клітчатці ймовірностей (див. рис. 3).

6. За розрахунковою ймовірністю перевищення $p=1\%$ як для другої категорії дороги визначаємо перевищення розрахункового річного рівня $H_p\%$ над нулем графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г}$ на рис.3.

7. Абсолютну відмітку розрахункового рівня високої води $PPBB$ визначаємо, додавши до знайденого розрахункового перевищення максимальних річних рівнів води $H_p\%$ (m) (див. рис. 1.3) задану абсолютну відмітку умовного нуля графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г}$ у місці мостового переходу за формулою:

$$PPBB=(H_p\%/100)+\nabla H_{н.г}=(1005/100)+90=100,05 \text{ м}$$

Розрахунковий рівень високої води становить 100,05 м.

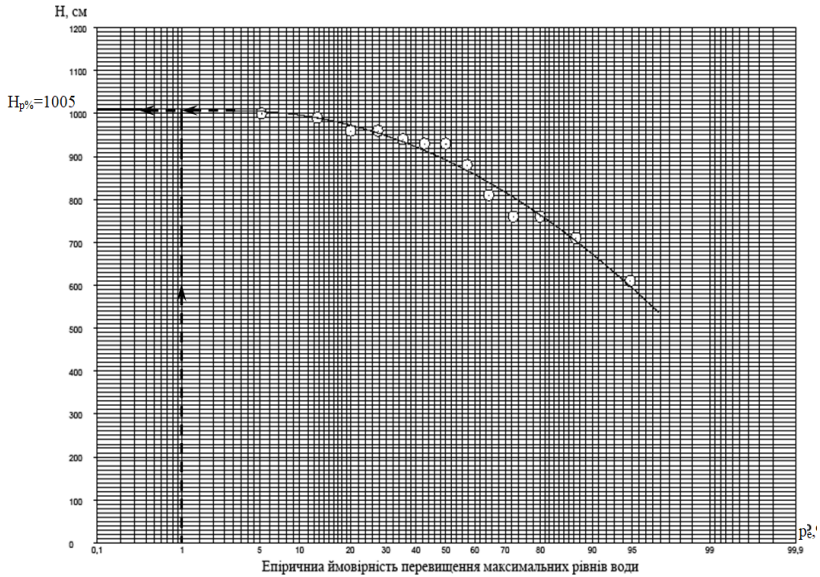


Рис.3. Клітинкова емпіричних ймовірностей перевищення максимальних річних рівнів повеневої води

1.2 Знаходження витрат в русловій та заплавних частинах річкового перерізу.

Задача 2. Знайти витрати води в русловій $Q_{p.n}$ і заплавних (лівій $Q_{л.з}$ і правій $Q_{п.з}$) частинах перерізу річки під час повені, якщо відомо:

- розрахункове перевищення над відміткою $\nabla H_{н.г}$ максимальних річних рівнів повеневої води $H_{p\%}=1000$ см;
- витратні характеристики $K_{p.n}=1220$, $K_{л.з}=592$, $K_{п.з}=557$;
- площа поперечного перерізу потоку води руслової частини $w_{p.n}=222$ м².

Графік кривої швидкості течії у руслі $v=f(H)$ наведений на рис 4.

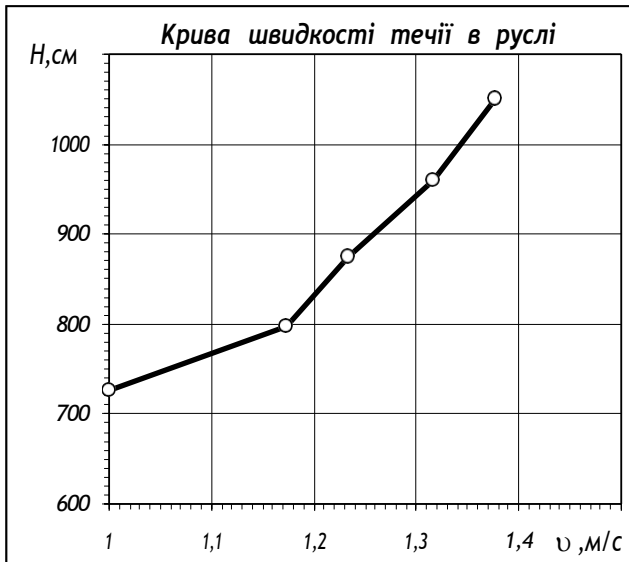


Рис. 4. Вихідні дані (графік) до задачі 2 (графік залежності $v=f(H)$)

Розв'язання

1. На рис.4 прогидимо горизонтальну лінію на відмітці, що відповідає $H_{p\%}=1000$ см до перетину із лінією графіку залежності $v=f(H)$ (див. рис.5).

2. В точці перетину горизонтальної лінії із графіком опускаємо перпендикуляр вниз до перетину із віссю абсцис (швидкості руху течії в руслі) (див.рис.5). Таким чином знаходимо фактичне значення швидкості течії в руслі $v_{p.n}=1,345$ м/с, яка відповідає відмітці $H_{p\%}=1000$ см.

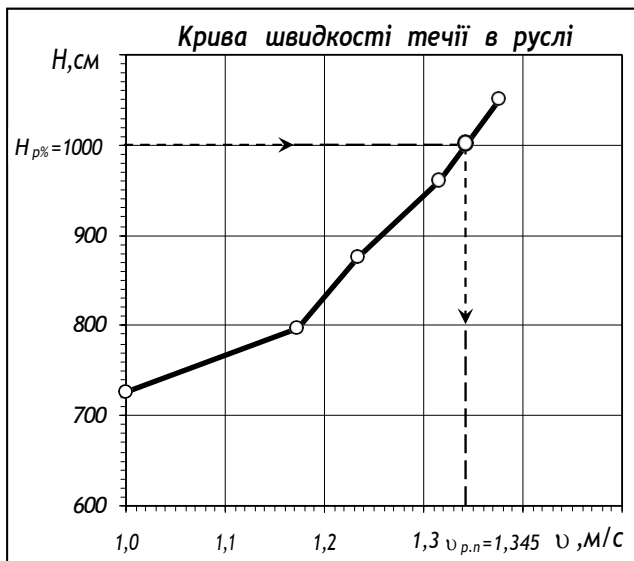


Рис. 5. Схема до графічного визначення середньої швидкості течії в головному руслі $v_{p.n.}$, що відповідає розрахунковому перевищенню максимальних річних рівнів повеневої води $H_{p\%}$ над відміткою $\nabla H_{n.z}$

3. Визначаємо параметр τ :

$$\tau = K_{p.n.} (K_{л.з} + K_{p.n.} + K_{н.з}) = 1220 / (592 + 1220 + 557) = 0,515 \quad (2)$$

4. Визначаємо побутову витрату води в руслі $Q_{p.n.}$ і повні витрати Q води:

$$Q_{p.n.} = v_{p.n.} w_{p.n.} = 1,345 \times 222 = 298,6 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3)$$

$$Q = Q_{p.n.} / \tau = 298,6 / 0,515 = 579,8 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

5. Визначаємо витрати води в заплавах та руслових частинах річкового перерізу. При цьому індекси п.з. символізують витрати у правій заплаві, індекс л.з. – у лівій заплаві відповідно.

$$Q_{л.з.} = ((Q - Q_{p.n.}) / (K_{л.з.} + K_{н.з.})) K_{л.з.} = ((579,8 - 298,6) / (592 + 557)) \times 592 = 144,9 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5)$$

$$Q_{н.з.} = ((Q - Q_{p.n.}) / (K_{л.з.} + K_{н.з.})) K_{н.з.} = ((579,8 - 298,6) / (592 + 557)) \times 557 = 136,3 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6)$$

1.3 Визначення повноти розрахункової повені.

Задача 3. Визначити повноту розрахункової повені H за такими даними (див. рис. 6):

– розрахункове перевищення над відміткою $\nabla H_{н.з.}$ середнього рівня рельєфу заплави $H_{з(сер)}\% = 4,5 \text{ у.о.}$;

– розрахункове перевищення над відміткою $\nabla H_{н.з.}$ максимальних річних рівнів повеневої води $H_{р\%} = 10,0 \text{ у.о.}$

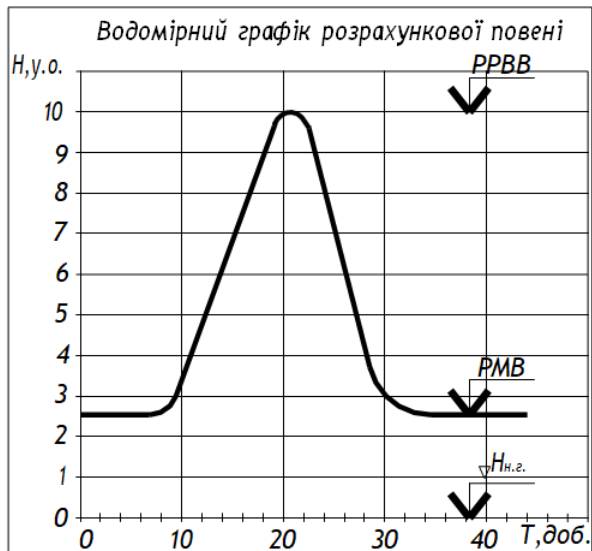


Рис. 6. Вихідні дані (графік) до задачі 3

Розв'язання.

1. Відкладаємо на водомірному графіку розрахункової повені $H=f(T)$, який наведений у вихідних даних задачі (рис.6) перевищення середнього рівня рельєфу заплави $H_{з(сеп)}\%=4,5$ у.о. над відміткою $\nabla H_{н.з.}$.

2. Розбиваємо відрізок тривалості на відрізки, коли рівень води в річці перевищує абсолютну відмітку заплави $\nabla H_{з(сеп)}$, тобто час розрахункової повені T_n на 6 однакових ділянок (кількість таких ділянок має бути не менше 6). Отримані точки проектуємо на графік $H=f(T)$ і фіксуємо числові значення отриманих ординат часткових визначень висоти $h_{n,i}$ розрахункової повені над середнім рівнем рельєфу заплави (див. рис. 7).

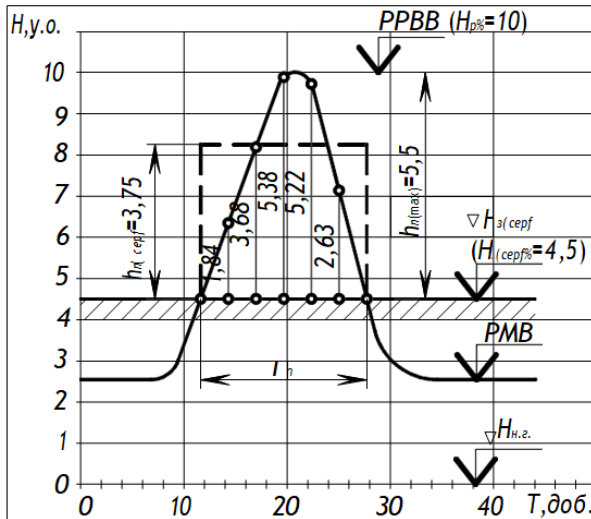


Рис.7. До визначення повноти розрахункової повені

Примітка. На графіку наведені наступні позначення: PPBB- абсолютні відмітки розрахункового рівня високої води; РМВ – абсолютні відмітки рівня меженної води; $\nabla H_{з(сеп)}$ – абсолютна висотна відмітка середнього рівня рельєфу заплави.

3. На основі рис. 7 визначаємо середню висоту $h_{n(сеп)}$ розрахункової повені над абсолютною відміткою середнього рівня рельєфу заплави $\nabla H_{з(сеп)}$:

$$h_{n(сеп)} = \Sigma h_{n,i} / n = (1,84 + 3,68 + 5,38 + 5,22 + 2,63) / 5 = 3,8 \text{ у.о.} \quad (7)$$

4. Знаходимо значення максимальної висоти розрахункової повені $h_{n(max)}$ над абсолютною відміткою середнього рівня рельєфу заплави $\nabla H_{з(сеп)}$:

$$h_{n(max)} = PPBB - \nabla H_{з(сеп)} = H_p \% - H_{з(сеп)} \% = 10 - 4,5 = 5,5 \text{ у.о.} \quad (8)$$

5. Визначаємо значення повноти розрахункової повені П:

$$П = h_{n(сеп)} / h_{n(max)} = 3,8 / 5,5 = 0,7 \quad (9)$$

1.4 Визначення обмеження максимальної глибини розмивання в підмостовому руслі.

Задача 4. Визначити можливість обмеження максимальної глибини розмивання в підмостовому руслі за геологічними умовами та побудувати епюру нерозмивальних швидкостей, якщо відомо:

- побутова глибина рельєфу в руслі, відлічувана від відмітки PPBB, $h_{p.n} = 2,5 \text{ м}$;
- швидкість водного потоку в підмостовому руслі після завершення загального розмивання $v_{p.m} = 1,2 \text{ м/с}$;

характеристики незв'язних ґрунтів інженерно-геологічних елементів (*IFE*) донних відкладень, що залягають в руслі, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика незв'язних ґрунтів, що залягають в руслі

Номер ПГЕ	Товщина ПГЕ, м	Середня крупність твердих мінеральних частинок ґрунту d , мм
1	2,2	1,1
2	1,8	10,0
3	5,0	35,2

Розв'язання

1. На границях кожного із виявлених інженерно-геологічних елементів (ґрунтів), товщини яких наведені в таблиці 4, визначаємо середні нерозмивальні швидкості:

- на початку ПГЕ-1 ($h_{1_1 \text{ ПГЕ-1}}=2,5 \text{ м}$):

$$V_{\text{нер. ПГЕ-1_1}}=(v_{\text{н.д.}}/d^{1/6}) \times h^{1/6}=0,65 \times 2,5^{1/6}=0,761;$$

- на кінці ПГЕ-1 ($h_{1_2 \text{ ПГЕ-1}}=2,5+2,2=4,7 \text{ м}$):

$$V_{\text{нер. ПГЕ-1_2}}=(v_{\text{н.д.}}/d^{1/6}) \times h^{1/6}=0,65 \times 4,7^{1/6}=0,845;$$

- на початку ПГЕ-2 ($h_{2_1 \text{ ПГЕ-1}}=2,5+2,2=4,7 \text{ м}$):

$$V_{\text{нер. ПГЕ-2_1}}=(v_{\text{н.д.}}/d^{1/6}) \times h^{1/6}=1,10 \times 4,7^{1/6}=1,424;$$

- на кінці ПГЕ-2 ($h_{2_2 \text{ ПГЕ-1}}=2,5+2,2+1,8=6,5 \text{ м}$):

$$V_{\text{нер. ПГЕ-2_2}}=(v_{\text{н.д.}}/d^{1/6}) \times h^{1/6}=0,65 \times 6,5^{1/6}=1,503;$$

- на початку ПГЕ-3 ($h_{3_1 \text{ ПГЕ-1}}=2,5+2,2+1,8=6,5 \text{ м}$):

$$V_{\text{нер. ПГЕ-3_1}}=(v_{\text{н.д.}}/d^{1/6}) \times h^{1/6}=1,636 \times 6,5^{1/6}=2,235;$$

- на кінці ПГЕ-2 ($h_{3_2 \text{ ПГЕ-1}}=2,5+2,2+1,8+5=11,5 \text{ м}$):

$$v_{\text{нер. ПГЕ-3}_2} = (v_{\text{н.д.}} / d^{1/6}) \times h^{1/6} = 0,65 \times 11,5^{1/6} = 2,458;$$

Значення $v_{\text{н.д.}} / d^{1/6}$ у формулах вище приймаються в залежності від виду ґрунтів та крупності їх частинок із таблиці Б.5 [17].

2. Отримані значення нерозмивальних швидкостей на кожній із границь інженерно-геологічних елементів будуємо епюру (рис.8). На вертикальній осі відкладаємо межі та товщини ПГЕ, на горизонтальній – отримані значення нерозмивальних швидкостей.

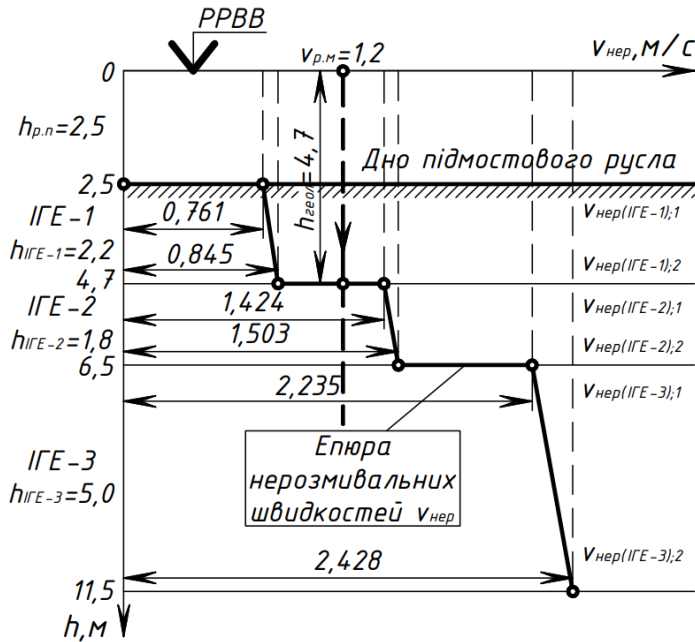


Рис. 8. Епюра нерозмивальних швидкостей

2. Задачі для самостійної роботи студентів

Розв'язування задач, пояснення послідовності їх розв'язку і правил виконання є частиною практичних занять у навчальному процесі. З метою закріплення отриманих на практичних заняттях знань пропонується самостійно розв'язати такі завдання:

Задача 1.

Для автомобільної дороги II категорії за даними про перевищення максимальних річних рівнів повеневої води H (см) у перерізі річкової долини над умовним нулем графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г.}$ за період гідрометричних спостережень 2000-2012 рр. визначити абсолютну відмітку розрахункового рівня високої води графоаналітичним способом із використанням клітковини ймовірностей. Для обчислення емпіричної ймовірностей перевищення p_e кожного з максимальних рівнів води застосувати формулу М.М. Чегодаєва.

Перевищення максимальних річних рівнів повеневої води H (см) над умовним нулем графіка водомірного поста $\nabla H_{н.г.}$ за період гідрометричних спостережень 2000-2012 рр. (13 років)												Від. абс. нуля $\nabla H_{н.г.}$	
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	80
762	995	715	1005	968	863	980	780	986	896	750	1000	1050	

Задача 2.

Знайти витрати води в русловій $Q_{р.п.}$ і заплавної (лівій $Q_{л.з.}$ і правій $Q_{п.з.}$) частинах перерізу річки під час повені, якщо відомо:

- розрахункове перевищення над відміткою $\nabla H_{н.г.}$ максимальних річних рівнів повеневої води $H_{р\%}=860$ см;
- витратні характеристики $K_{р.п.}=1152$; $K_{л.з.}=632$; $K_{п.з.}=984$;
- площа поперечного перерізу потоку води руслової частини $w_{р.п.}=196$ м².

Графік кривої швидкості руху течії у руслі $v=f(H)$ представлений на рисунку.

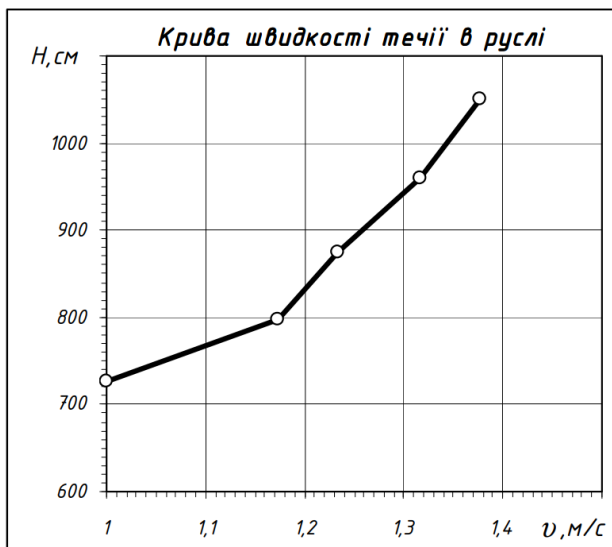


Рис. 9. Крива швидкостей до задачі 2

Задача 3.

Визначити повноту розрахункової повені Π за такими даними:

- розрахункове перевищення на відміткою $\nabla H_{н.г.}$ середнього рівня рельєфу заплави $H_{з(сер)}\% = 6$ у.о.;
- розрахункове перевищення над відміткою $\nabla H_{н.г.}$ максимальних річних рівнів повеневої води $H_p\% = 12$ у.о.;

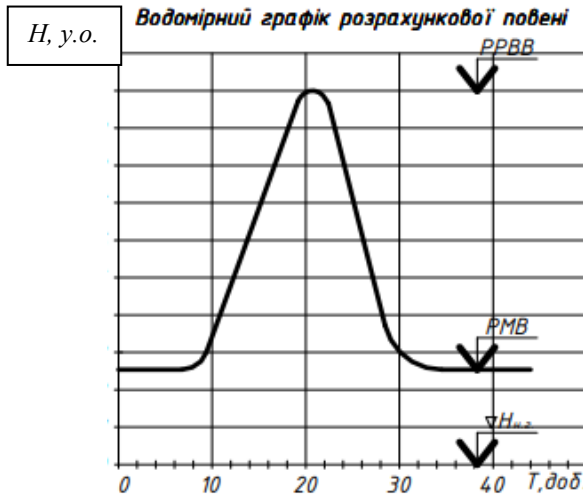


Рис. 10. Водомірний графік до задачі 3

Задача 4.

Визначити можливість обмеження максимальної глибини розмивання в підмостовому руслі за геологічними умовами (побудувавши графік $v_{нер} = f(h)$), якщо відомо:

- побутова глибина рельєфу в руслі, відлічувана від відмітки РРВВ $h_{р.п.} = 2,0$ м;
- швидкість водного потоку в підмостовому руслі після завершення загального розмивання $v_{р.м.} = 1,5$ м/с;

- характеристики незв'язних ґрунтів окремих інженерно-геологічних елементів (ІґЕ), що залягають у руслі (донних відкладень), наведені в таблиці

Номер ІґЕ	Товщина ІґЕ, м	Середня крупність твердих мінеральних частинок ґрунту d, мм
1	3	1,3
2	4	12
3	5	37

Рекомендована література

1. Білятинський О. А., Заворицький В. Й., Старовойда В. П., Хомяк Я. В. Проектування автомобільних доріг. Частина 1. Київ : Вища школа, 1997. 518 с.
2. Бойчук В. С. Довідник дорожника. Київ : Урожай, 2002. 560 с.
3. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 01.04.2016]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 112 с.
4. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. [Чинний від 01.02.2007]. Вид. офіц. Київ : Мін-во будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2007. 367 с.
5. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. [Чинний від 01.03.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 73 с.
6. ДБН В.2.3-6-2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування. [Чинний від 01.03.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 63 с.
7. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби. [Чинний від 01.03.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 84 с.
8. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 01.07.2017]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 26 с.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. [Чинний від 01.11.2011]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укрархбудінформ». 2011. 127 с.
10. ДСТУ Б В.2.3-1-95 (ГОСТ 26775-97). Споруди

транспорту. Габарити підмостові судноплавних прогонів мостів на внутрішніх водних шляхах. Норми і технічні вимоги. [Чинний від 01.07.1997]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1998. 19 с.

11. ДСТУ Б В.2.3-24:2009. Споруди транспорту. Труби дорожні. Обстеження та оцінювання технічного стану. [Чинний від 01.08.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 29 с.

12. ДСТУ 8748:2017. Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів. [Чинний від 01.01.2019]. Вид. офіц. Київ : ДерждорНДІ, 2019. 22 с.

13. ДСТУ 8908:2019. Автодорожні мости. Класифікація дефектів. [Чинний від 01.10.2020]. Вид. офіц. Київ : ДерждорНДІ, 2019. 71 с

14. ДСТУ 9123:2021. Настанова з обстеження та випробування мостів і труб. [Чинний від 01.07.2022]. Вид. офіц. Київ : ДерждорНДІ, 2022. 43 с.

15. ДСТУ 9181:2022. Споруди транспорту. Мости автодорожні. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. [Чинний від 01.01.2023]. Вид. офіц. Київ : ДерждорНДІ, 2023. 32 с.

16. ДСТУ 9214:2023. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. [Чинний від 01.06.2023]. Вид. офіц. Київ : Технічний комітет стандартизації ТК 307 «Автомобільні дороги і транспортні споруди», 2023. 48 с.

17. Крусь Ю. О. Штучні споруди на автомобільних дорогах: мостові переходи через водотоки : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 133 с.

18. Крусь Ю. О. Конспект лекцій до дисципліни «Штучні споруди на автомобільних дорогах. URL: <https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=193>

19. Лучко Й. Й., Распонов О. С. Будова та експлуатація штучних споруд. Львів : Каменярь, 2010. 868 с.

20. Піндус Б. І., Гончаренко В.В. Проектування автомобільних доріг : навчальний посібник. Горлівка : ДонНТУ, 2013. 244 с.
21. Хом'як Я. В. Проектування дорожніх покриттів. Київ : Вища школа, 1960. 107 с.
22. СНиП 2.05.08-85. Аеродроми. Госстрой ССРСР. [Чинний від 01.01.1986]. Москва : ЦИТП Госстроя ССРСР. 1986. 59 с.