

## ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №3-4

### ТЕМА ЗАНЯТЬ: Особливості відведення атмосферних стічних вод

**Мета занять:** закріпити навички роботи з нормативною літературою, пошуку розрахункових параметрів для визначення витрат дощових вод та проектування камери розподілу донного типу.

**Завдання 1.** Визначити глибину перепаду та основні розміри камери розподілу донного типу для дощового колектора довжиною,  $L$ , м для розрахункової площі стоку  $F$ , га; коефіцієнту водопроникної поверхні  $Z$ , середньої швидкості течії  $V$ , м/с (таблиця А1 додатку А).

**Завдання 2.** Визначити об'єм регулюючого резервуара для дощового колектора за даними попередньої задачі.

**Завдання 3.** Пневматична установка піднімає стічні води при витраті  $q_1$  на висоту  $H$ . Після дощу витрата стічних вод зросла в  $\alpha$  разів. Як зміниться повний напір пневматичної установки, якщо довжина напірного трубопроводу  $l_1$ , питомий опір  $S_0 = 3787 \times 10^{-6}$  (для витрат в л/с). (таблиця А1 додатку А).

**Завдання 4.** Визначити зміни в гідравлічному режимі роботи ділянок дощового дюкера довжина яких становить  $l_2$  і  $d=150$ мм при збільшенні витрати атмосферних стічних вод в  $\alpha$  разів.

Три ділянки самопливного колектора  $d=300$ мм з верхової сторони дюкера характеризується такими показниками: ухил труб  $i=4 \times 10^{-3}$ , загальна довжина  $l=150$ м, витрата 40л/с, швидкість руху стоків  $v=0,9$ м/с, наповнення  $h/d=0,6$  (таблиця А1 додатку А).

#### Методичні рекомендації

В основу роботи камери розподілу донного типу покладено принцип зміни дальності відльоту струмини при зміні витрати.

При витратах, що не перевищують витрату граничного дощу  $Q_{гр}$ , вся вода провалюється через щілину, і надходить у лоток загальносплавного колектора (у загальносплавній або напівроздільній системі), або направляється на очистку (у повній роздільній системі). При витратах, що перевищують граничний дощ, струмина перелітає через щілину, і надходить у лоток зливоспуску.

Розрахунок камери розподілу зводиться до визначення глибини перепаду, ширини щілини й основних розмірів камери.

Розрахунки базуються на критичних глибинах, що встановлюються в кінці лотка перед перепадом.

Критичні глибини при розрахунковому  $h_{кр}$  та граничному  $h_{кр,гр}$  дощах становлять

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q}{g \times b^2}} \qquad h_{кр,гр} = \sqrt[3]{\frac{Q_{гр}}{g \times b^2}}, \qquad (8)$$

де  $h_{кр}$ ,  $h_{кр,гр}$  – критичні глибини відповідно при витратах розрахункового  $Q$  й граничного  $Q_{гр}$  дощу;

$b$  – ширина лотка, приймається рівною діаметру труби на вході в камеру  $d_1$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння.

Для забезпечення заданої величини граничного дощу  $Q_{гр}$ , що не скидається у водойму, слід надати необхідний кут нахилу струмини до горизонту  $\beta$ .

$$\cos \beta = 1 - 2Q_{сп} / Q \quad (9)$$

При цьому необхідна висота перепаду становить

$$P = 1.5 \times h_{кр} \times \operatorname{tg}^2 \beta \quad (10)$$

$$\text{або } P = \frac{6 \times h_{кр} \times Q_{сп} \times (Q - Q_{сп})}{(Q - Q_{сп})^2}. \quad (11)$$

Ширина щілини повинна забезпечувати приймання витрати граничного дощу

$$a = l_{сп} + \delta_{сп}, \quad (12)$$

де  $a$  – ширина щілини;

$l_{сп}$  – дальність відльоту струмини при витраті граничного дощу;  $\delta_{сп}$  – проекція товщини струмини на горизонталь.

$$l_{сп} = 1.41 \times h_{кр,сп} \times \sqrt{0.3 + P / h_{кр,сп}}, \quad (13)$$

$$\delta_{сп} = \frac{Q_{сп}}{2 \times b \times \sqrt{2g \times (P + 1.5 \times h_{кр,сп})} \times \sin \beta}, \quad (14)$$

$$l_1 = 1.41 \times h_{кр} \times \sqrt{0.3 + P / h_{кр}}, \quad (15)$$

$$\delta_1 = \frac{Q}{2 \times b \times \sqrt{2g \times (P + 1.5 \times h_{кр})} \times \sin \beta} \quad (16)$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{сп} \times (Q - Q_{сп})}{Q^2}}, \quad (17)$$

де  $l_1$  та  $\delta_1$  – дальність відльоту струмини та проекція товщини струмини на горизонталь при розрахунковому дощі.

Довжина камери

$$L = s + l_1 + \delta_1 + e \quad (18)$$

де  $s$  – відстань від входу в камеру до перепаду, приймається  $s = (4 \dots 5) h_{кр}$ ;

$l_1$  – дальність відльоту струмини при витраті розрахункового дощу;

$\delta_1$  – проекція товщини струмини на горизонталь при витраті розрахункового дощу;

$e$  – відстань від струмини до стінки камери; орієнтовно  $e = 0.3$  м.

Діаметр зливоспуску  $d_2$  зазвичай приймають рівним діаметру на вході  $d_1$ .

Діаметр відвідного колектора  $d_3$  визначають виходячи з витрати граничного дощу  $Q_{гр}$ .

### *Алгоритм і приклад розрахунків.*

Розрахувати розподільчу камеру донного типу для дощового колектора довжиною 2000 м, що обслуговує площу водозбору  $F=80$  га у Запорізькій області. Середній коефіцієнт водонепроникності поверхней  $z_{\text{сер}}=0,18$ ; середня швидкість руху води по трубах  $v=1.3$  м/с.

Таблиця 2.1-Вихідні дані до завдання №1

№ вар	Довжина, м	Площа басейна, F, га	Коеф. водонепрон. , $Z_{\text{сер}}$	Середня швидкість, V, м/с
1	1400	70	0,12	1,15
2	1450	72,5	0,125	1,17
3	1500	75	1,13	1,19
4	1600	80	0,135	1,21
5	1700	85	0,14	1,23
6	1800	90	0,145	1,25
7	1900	95	0,15	1,27
8	2000	100	0,155	1,29
9	2100	95	0,16	1,31
10	2200	98	0,165	1,34
11	2300	97	0,17	1,35
12	2400	96	0,175	1,37
13	2500	94	0,18	1,39
14	2600	93	0,185	1,41
15	1700	92	0,19	1,33
16	1800	91	0,195	1,44
17	1900	89	0,2	1,42
18	2000	88	0,205	1,41
19	1100	87	0,21	1,38
20	2200	86	0,218	1,36
21	1300	84	0,22	1,34
22	2300	86	0,225	1,32
23	1400	82	0,22	1,3
24	2400	79	0,25	1,28
25	1500	78	0,18	1,26
26	2500	77	0,185	1,24
27	1600	76	0,175	1,21
28	2600	75	0,16	1,2
29	1700	74	0,155	1,18
30	2700	72	0,16	1,16

Рішення

1. Відповідно до ДБН знаходимо параметри  $q_{20}=91.8$  л/с\*га;  $n=0.7$ ;  $m=97$ ;  $\gamma=1.82$ . Приймаємо  $P=1$ ;  $t_{\text{con}}=10$  хв.;  $t_{\text{can}}=1$  хв.

2. Визначаємо параметр А

$$A = q_{20} \times 20^n \times \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m}\right)^\gamma = 91.8 \times 20^{0.7} \times \left(1 + \frac{\lg 1}{\lg 97}\right)^{1.82} = 747.4$$

3. Визначаємо розрахункову тривалість дощу

$$t = t_{con} + t_{can} + t_p = 10 + 1 + 0.017 * 2000 / 1.3 = 37.15 \text{ хв}$$

4. Визначаємо витрату розрахункового дощу

$$Q = \frac{z_{cep} \times A^{1.2} \times F}{t^{1.2n-0.1}} = \frac{0.18 \times 747.4^{1.2} \times 80}{37.15^{1.2*0.7-0.1}} = 2785 \text{ л/с}$$

5. Визначаємо приблизний діаметр труби

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 * 2.785}{3.14 * 1.3}} = 1.65 \text{ м}$$

Приймаємо d=1800 мм.

6. Розраховуємо витрату граничного дощу, приймаючи період повторюваності  $P_{lim}=0.1$ .

$$k' = \left[ \frac{\lg(m * P_{lim})}{\lg(m * P)} \right]^\gamma = \left[ \frac{\lg(97 * 0.1)}{\lg(97 * 1)} \right]^{1.82} = 0.28$$

Відповідно до ДБН  $k_{div}=0.15$ . Тоді  $Q_{гр} = k_{div} * Q = 0.15 * 2785 = 417.75$

л/с.

7. Розраховуємо критичні глибини

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{2.785}{9.81 * 1.8^2}} = 0.296 м$$

$$h_{кр,сп} = \sqrt[3]{\frac{Q_{сп}}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.41775}{9.381 * 1.8^2}} = 0.115 м$$

8. Визначаємо потрібну висоту перепаду

$$P = \frac{6 \times h_{кр} \times Q_{сп} \times (Q - Q_{сп})}{(Q - Q_{сп})^2} = \frac{6 \times 0.26 \times 0.41775 \times (2.785 - 0.41775)}{(2.785 - 0.41775)^2} = 0.313 м$$

9. Визначаємо дальність відльоту струмینی при витратах розрахункового і граничного дощів

$$l_1 = 1.41 \times h_{кр} \times \sqrt{0.3 + P / h_{кр}} = 1.41 \times 0.296 \times \sqrt{0.3 + 0.313 / 0.296} = 0.486 м$$

$$l = 1.41 \times h_{кр,сп} \times \sqrt{0.3 + P / h_{кр,сп}} = 1.41 \times 0.115 \times \sqrt{0.3 + 0.313 / 0.115} = 0.282 м$$

10. Визначаємо розмір проєкції товщини струмینی на горизонталь для розрахункового і граничного дощів

$$\sin \beta = \sqrt{\frac{4 \times Q_{сп} \times (Q - Q_{сп})}{Q^2}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.41775 \times (2.785 - 0.41775)}{2.785^2}} = 0.7135$$

$$\delta_1 = \frac{Q}{2 \times b \times \sqrt{2g \times (P + 1.5 \times h_{кр,сп}) \times \sin \beta}} = \frac{2.785}{2 * 1.8 * \sqrt{2 * 9.81 * (0.313 + 1.5 * 0.296) * 0.7135}} = 0.2388 м$$

$$\delta = \frac{Q_{сп}}{2 \times b \times \sqrt{2g \times (P + 1.5 \times h_{кр,сп}) \times \sin \beta}} = \frac{0.41775}{2 * 1.8 * \sqrt{2 * 9.81 * (0.313 + 1.5 * 0.115) * 0.7135}} = 0.044 м$$

11. Ширина щілини

$$a = l + \delta = 0.282 + 0.044 = 0.326 м$$

12. Довжина камери

$$L = s + l_1 + \delta_1 + e = 4 * 0.296 + 0.486 + 0.238 + 0.3 = 2.208 \approx 2.1 м$$

При розв'язанні завдання 2 слід враховувати, що регулюючі резервуари влаштовують на дощовій мережі для накопичування в них стічних вод під час злив, і спрацьовування в суху погоду. При цьому малоінтенсивні дощі скидаються у водойму або на очисні споруди повз регулюючий резервуар.

Об'єм регулюючого резервуара визначається за формулою:

$$W = Q_{\max} \times T_p \times k, \quad (19)$$

де  $Q_{\max}$  – максимальна витрата дощового стоку, м<sup>3</sup>/с;

$T_p$  – розрахункова тривалість дощу, с;

$K$  – коефіцієнт об'єму регулюючого резервуара (таблиця 1),  $k=f(\alpha, n)$ ,

де  $\alpha$  – коефіцієнт регулювання, це відношення витрати, що йде повз резервуар  $Q_{\text{ск}}$ , до максимальної витрати  $Q_{\max}$ . Зазвичай  $\alpha$  приймають рівним коефіцієнту розподілу  $k_{\text{div}}$  для напівроздільної системи водовідведення;

$n$  – показник ступеню, кліматична характеристика.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта  $k$

$\alpha$	Значення коефіцієнта $k$ при					
	$n=0.5$	$n=0.55$	$n=0.6$	$n=0.67$	$n=0.7$	$n=0.75$
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
0.8	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
0.7	0.10	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13
0.6	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21
0.5	0.20	0.18	0.18	0.28	0.20	0.31
0.4	0.45	0.42	0.40	0.40	0.41	0.42
0.3	0.69	0.62	0.58	0.51	0.52	0.54
0.25	0.9	0.77	0.69	0.64	0.63	0.68
0.2	1.16	0.96	0.85	0.77	0.73	0.76
0.15	1.55	1.27	1.08	0.932	0.86	0.81
0.1	-	1.84	1.46	1.17	1.07	0.97

### Приклад розв'язування завдань

Завдання 3.

Вихідні дані:  $q_l=3\text{л/с}$ ,  $H_l=5\text{м}$ ,  $l_l=10\text{м}$ ,  $\alpha=1,5$ .

Повний напір установки до збільшення її подачі визначається за формулою:

$$H = H_{\Gamma} + S q_{15}^2 = H_{\Gamma} + S_0 l_l q_{15}^2, \quad (20)$$

$$H = 5 + 3686 \times 10^{-6} \times 10 \times 3^2 = 5,33\text{м}.$$

Зростання повного напору установки при збільшенні подачі в  $\alpha$  разів становить:

$$H_l = H_{\Gamma} + S \varphi^2 q_{15}^2 = 5 + 3686 \times 10^{-6} \times 10 \times 1,5^2 \times 3^2 = 5,75\text{м}.$$

Таким чином, при збільшенні витрати в 1,5 рази повний напір повинен зрости в 1,1 рази, щоб компенсувати збільшення витрат напору у 2,3 рази.

Завдання 4.

Вихідні дані:  $l_4=150\text{м}$ ,  $\alpha=1,3$ .

Схема дюкера приведена на рис.3.

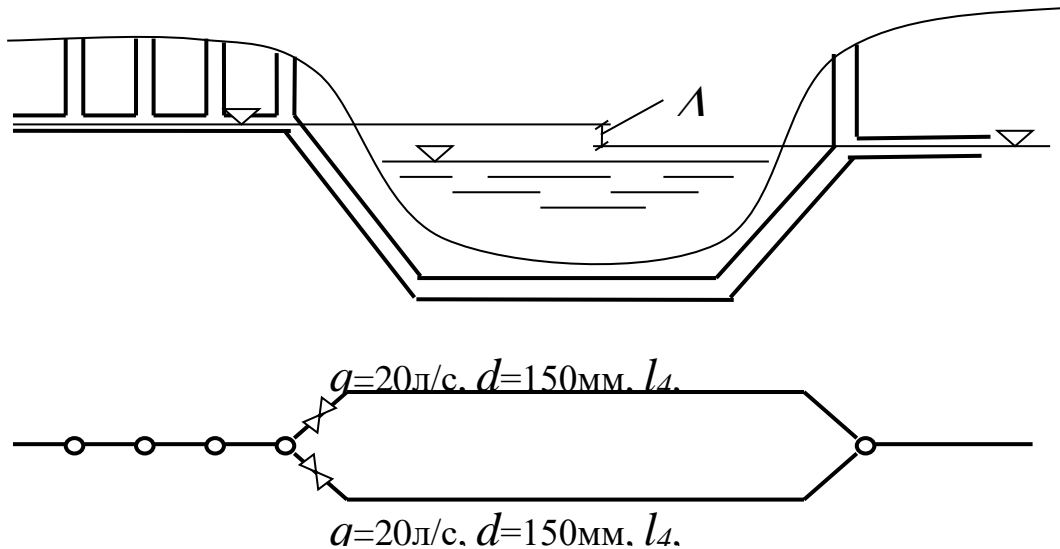


Рисунок 3. Схема улаштування дюкера

У вихідному стані втрати напору в дюкері дорівнюють:

$$\Delta h_l = h_l + h_m = il_4 + \sum \zeta_i \frac{v_g^2}{2g}, \quad (21)$$

де  $h_l$  і  $h_m$  – втрати напору по довжині і на місцеві опори відповідно,  
 $\zeta_i$  - коефіцієнти місцевого опору в дюкері.

$$\Delta h_l = i \times l + (\zeta_{вх.} + \zeta_{зас.} + m \zeta_{відв.} + \zeta_{вих.}) \frac{v_g^2}{2g}, \quad (22)$$

де  $\zeta_{вх.}$ ,  $\zeta_{зас.}$ ,  $\zeta_{відв.}$ ,  $\zeta_{вих.}$  – коефіцієнт місцевого опору на вході в трубу, в засувці, в відводі, на вихід з труби відповідно,

$m$  - кількість відводів,  $m=2$ ;

$v_g$  - швидкість руху стоків в дюкері.

$$\Delta h = 12,6 \times 10^{-3} \times 150 + (0,5 + 0,11 + 2 \times 0,15 + 1) \frac{1,13^2}{2 \times 9,81} = 2,01 \text{ м.}$$

Якщо витрата атмосферних стічних вод зросте у  $\alpha$  разів, втрати напору зростуть в  $1,3^2=1,69$  рази і складуть:

$$\Delta h_2 = 1,69 \Delta h_1 = 3,38 \text{ м,}$$

що на  $\Delta h_3 = \Delta h_2 - \Delta h_1 = 3,38 - 2,01 = 1,37 \text{ м}$  більше вихідних втрат напору.

Перепад позначок рівнів стоків між крайніми колодязями з верхової і низової сторін переходу становить:

$$\Delta h_e = i_e \times l_e, \quad (23)$$

де  $i_e$  – ухил верхової лінії;

$l_e$  - довжина верхової ділянки.

$$\Delta h_e = 0,004 \times 150 = 0,6 \text{ м.}$$

Виникає загроза підтоплення верхньої та прилеглих ділянок, якщо не вжити ніяких заходів, тому що

$$\Delta h_3 > \Delta h_e.$$

Перерозподіл витрат стоків в лініях зменшить втрати напору в переході, для цього слід прокласти додаткову лінію дюкеру. При загальній витраті  $40 \times 1,3 = 52$  л/с витрата в кожній лінії буде  $52 / 3 = 17,33$  л/с .

Тоді швидкість руху стоків в лініях дюкеру буде:

$$v_1 = Q / (0,785 d^2) = 0,01733 / (0,785 \times 0,15^2) = 0,98 \text{ м/с},$$

а питомі втрати напору  $i'_0 = 9,6$  м/км [2]. Тоді втрати напору в дюкері будуть дорівнювати:

$$\Delta h'_1 = i'_0 l + \sum \zeta_i \frac{v_1^2}{2g} = 9,6 \times 0,15 + 1,91 \frac{0,98^2}{2 \times 9,81} = 1,53 \text{ м.}$$

Таким чином, система буде працездатною, можливого замулювання окремих ліній можна уникнути за допомогою промивки, для проведення якої періодично слід закривати одну з ліній дюкеру.

### Питання для самоконтролю

1. За якими умовами приймається мінімальна розрахункова витрата стічних вод?
2. При якому притоку слід призначати мінімальні швидкості транспортування стічних вод?
3. В чому полягає особливість реконструкції діючих систем водовідведення при умові очистки найбільш забрудненої частини поверхневого стоку?
4. В чому полягає особливість регулювання дощового стоку?
5. Назвіть конструктивні особливості регулюючих резервуарів.
6. В чому полягає особливості реконструкції повної роздільної системи водовідведення в напівроздільну?
7. Як збільшити пропускну здатність колекторів фекальної каналізації?
8. Особливості проектування камери розподілу донного сливу.



Вихідні дані

Показник и	Одиниці вимірю вання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	меш.	6300	9500	7900	5500	9600	13000	14200	17000	20600	15000
n	л/доб люд	180	200	220	190	200	230	230	250	260	240
L	м	1400	1450	1500	1600	1700	1800	1900	2200	2100	2000
F	га	70	72,5	75	80	85	90	110	120	115	85
Z		0,12	0,125	0,113	0,135	0,14	0,150	0,16	0,155	0,13	0,125
V	м/с	1,15	1,17	1,14	1,19	1,21	1,23	1,25	1,24	1,22	1,18
$q_1$	л/с	4	5	4	3	1	2	1	3	1	3
H	м	3	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
$l_1$	м	14	15	19	16	22	19	21	18	20	17
$\alpha$	разів	2,0	1,8	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
$l_2$	м	140	160	170	130	120	140	150	160	170	180
Q	м <sup>3</sup> /доб	1300	1400	1500	1700	1800	1900	2100	2000	2200	1650
C <sub>зав</sub>	мг/л	750	800	450	600	550	450	680	580	700	800
C <sub>нафт</sub>	мг/л	150	350	200	250	180	190	220	240	260	270
$q_2$	м <sup>3</sup> /ГОД	500	400	350	65	700	800	670	900	820	450
D <sub>set</sub>	м	30	24	30	24	18	40	30	24	18	40
q <sub>set</sub>	м <sup>3</sup> /ГОД	1200	600	1500	750	400	1800	1100	800	500	1700
$q_n$	м <sup>3</sup> /ГОД	70,8	62,3	54,8	45,6	90,2	76,5	85,5	100,5	72,4	84,5
a	%	36	42	35	54	47	38	46	39	42	46
g	мм	0,065	0,054	0,078	0,0652	0,0549	0,0714	0,073	0,082	0,079	0,085
$q_{под}$	т/ГОД	42,7	32,7	45,5	74,2	65,2	58,2	46,5	55	64,8	72,1
c	%	75	80	81	76	74	72	82	85	88	78
C <sub>н</sub>	%	135	139	138	140	137	132	130	140	144	138
D <sub>hc</sub>	мм	50	63	80	100	76	50	63	80	100	76
Q <sub>вх</sub>	л/хв	87	120	200	300	82	80	100	180	250	76
X	%	20	15	10	25	8	25	7	4	12	18
Q <sub>ср.доб</sub>	м <sup>3</sup> /доб	1200	2500	3000	4600	6000	7500	8700	9600	10500	14400
C <sub>1</sub>	мг/л	150	200	250	300	320	240	190	140	270	310
C <sub>2</sub>	мг/л	200	250	300	350	400	280	350	420	280	320

$N_1$	тис.люд	195	190	185	180	175	180	187	193	191	205
$N_2$	тис.люд	95	105	90	100	97	99	85	88	90	96
$Q_1$	тис.м <sup>3</sup> /добу	50	49	48	47	46	45	46	47	48	49
$Q_2$	тис.м <sup>3</sup> /добу	19	20	18	19	20	18	19	20	21	22
$d$	МКМ	50	150	150	100	100	95	90	85	80	75
$\rho_{тв}$	кг/ м <sup>3</sup>	1500	1200	1300	1400	1600	1550	1280	1200	1230	1950
$\rho_v$	кг/ м <sup>3</sup>	1000	1000	1050	980	990	1000	1010	1020	1030	1035
$\mu$	Па*с.	2	1	1,5	1,8	1,9	1,5	5,4	3,8	1,6	2,5
$\alpha$	град	45	50	55	60	46	51	56	61	47	49
$h_{яр}$	ММ	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$\delta$	ММ	3	3	3	2,5	2,5	2,5	4	4	4	3,5