

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ГІДРАВЛІКИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Методичні вказівки і завдання
до розрахунково-графічних вправ і контрольних робіт
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізації «Водопостачання та водовідведення»

Київ 2020

УДК 532
С71

Укладачі: А.М. Кравчук, д-р техн. наук, професор;
О.А. Кравчук, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О.А. Василенко, канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск А.М. Кравчук, д-р техн. наук,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання та
водовідведення, протокол № 6 від 18 листопада 2019 року.*

В авторській редакції.

Спеціальні питання гідравліки систем водопостачання та
С71 водовідведення: методичні вказівки і завдання до розрахунково-
графічних вправ і контрольних робіт / уклад.: А.М. Кравчук,
О.А. Кравчук. – Київ: КНУБА, 2020. – 60 с.

Містять методичні вказівки і завдання до виконання
розрахунково-графічних вправ і контрольних робіт.

Призначено для студентів спеціальності 192 «Будівництво та
цивільна інженерія» спеціалізації «Водопостачання та
водовідведення» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1. Рух рідини зі змінною витратою.....	4
2. Фільтрування рідин.....	14
3. Відстоювання рідин	16
4. Особливості нерівномірного руху стічних вод у самопливних трубах систем водовідведення.....	19
5. Розрахунок трубопроводів гідротранспорту	29
6. Розрахунок мулопроводів.....	26
7. Особливості розрахунку напірних трубопроводів при русі стисливої рідини.....	27
8. Рух газорідних потоків	29
9. Розрахунок трубопроводів некруглого перерізу.....	32
10. Плівковий рух	33
11. Неусталений рух рідини	35
12. Планова задача гідравліки.....	35
13. Стратифіковані течії.....	38
14. Пристрої для вирівнювання епюри швидкостей в потоці рідини	39
15. Гідравлічні струмини	43
КОНТРОЛЬНА РОБОТА ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЗАОЧНИКІВ	45
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	59

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Навчальна дисципліна «Спеціальні питання гідравліки систем водопостачання та водовідведення» розглядає умови руху рідини зі змінною витратою в напірних трубопроводах і безнапірних каналах, теоретичні основи фільтрування через насипне завантаження, особливості вільного і стисненого осідання твердих частинок у рідині, питання руху неоднорідних та стисливих рідин, плівковий рух рідини та рух двофазних рідин. Основні характеристики нерівномірного руху стічних вод у безнапірних трубах систем водовідведення, неусталені течії води у відкритих руслах, стратифіковані течії, планова задача гідравліки. Умови протікання рідини в каналах некруглого перерізу та застосування решіток для вирівнювання структури потоків, основні характеристики затоплених і незатоплених струмин.

Дисципліна вивчається у V семестрі студентами денної форми навчання та у VI семестрі заочної форми навчання. Студенти денної і заочної форм навчання виконують контрольну роботу. Після вивчення курсу складають іспит.

1. РУХ РІДИНИ ЗІ ЗМІННОЮ ВИТРАТОЮ

Робоча програма

Розглянути диференційне рівняння руху рідини зі змінною витратою. Особливості руху рідини в напірних трубопроводах, які працюють з рівномірним і нерівномірним приєднанням або від'єднанням рідини вздовж шляху, методи розрахунку оптимальних конструктивних параметрів цих систем. Рух рідини зі змінною витратою у відкритих руслах, бокові водозливи.

Методичні вказівки

У поданому розділі належить ознайомитися з особливостями руху рідини зі змінною витратою за довжиною потоку. Диференційне рівняння, яке описує такий рух, називається *основним диференційним рівнянням руху рідини зі змінною витратою* і має вигляд [1]:

$$d \frac{V^2}{2g} + \frac{V(1-e)}{g\omega} dQ + d \frac{p}{\rho g} + dz + dh_l = 0, \quad (1.1)$$

де V – середня в перерізі швидкість руху потоку; p – тиск; Q – витрата рідини; ω – площа перерізу труби; $e = \Theta/V$; $\Theta = v \cdot \cos \varphi$ – проекція швидкості приєднуваної (відділюємої) маси на вісь основного потоку; $d \frac{V^2}{2g}$ – приріст швидкісного напору на нескінченно малій ділянці; $d \frac{p}{\rho g}$ – приріст п'єзометричної висоти; dz – приріст відмітки осі перерізу потоку; dh_l – втрати напору за довжиною на ділянці нескінченно малої довжини; dQ – приріст витрати; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

Для трубопроводів постійного поперечного перерізу, коли $\omega = \text{const}$, $dQ = \omega dV$, $d \frac{p}{\rho g} + dz = dH$ (H – п'єзометричний напір), матимемо:

$$dH + A \frac{V dV}{g} + dh_l = 0, \quad (1.2)$$

де $A = 2 - e$ (для збірних трубопроводів $A \approx 2$, для розподільчих $A \approx 1,7$).

Розв'язок рівняння дає можливість отримати розрахункові залежності для різних практичних випадків.

Збірні трубопроводи

Горизонтальні збірні трубопроводи постійного діаметра з рівномірною перфорацією вздовж шляху, які працюють без транзитної витрати (рис. 1.1), за пропозицією А.М. Кравчука розраховуються за формулами:

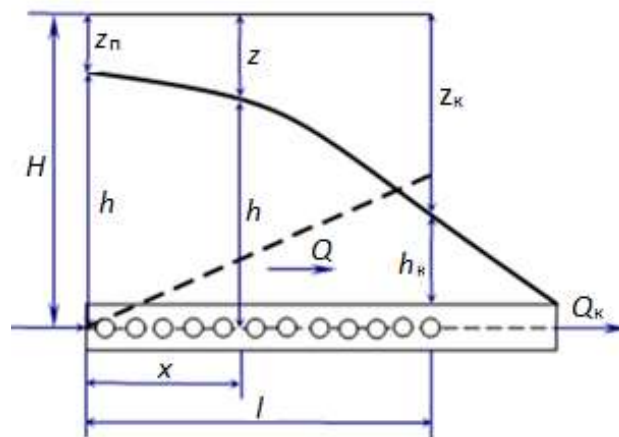


Рис. 1.1

- відносна витрата в довільному і кінцевому перерізах трубопроводу

$$\tilde{Q} = \frac{1}{k} \frac{sh(k\tilde{x})}{ch(k\tilde{f})}, \quad \tilde{Q}_K = \frac{1}{k} \frac{sh(k\tilde{f})}{ch(k\tilde{f})} = \frac{1}{k} th(k\tilde{f}); \quad (1.3)$$

- безрозмірний перепад напорів у довільному і початковому перерізах

$$\tilde{z} = \frac{ch(k\tilde{x})}{ch(k\tilde{f})}, \quad \tilde{z}_n = \frac{1}{ch(k\tilde{f})}, \quad (1.4)$$

де $\tilde{Q} = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gz_K}}$ – безрозмірна витрата; $\tilde{z} = \sqrt{\frac{z}{z_K}}$ – безрозмірний перепад напорів; $\tilde{x} = \frac{\mu_{зб} \alpha_n x}{\omega}$ – безрозмірна відстань; z_K і z – відповідно, перепад напорів у кінці і в довільному перерізі на відстані x від початку збірника; $\mu_{зб}$, $\lambda_{зб}$ – постійні за довжиною, відповідно, коефіцієнт витрати і гідравлічний коефіцієнт тертя збірного трубопроводу; $a_n = \frac{\sum \omega_{от}}{l}$ – площа отворів перфорації, віднесена до довжини труби (площа отворів на одиниці довжини труби); $\omega_{от}$ – площа одного отвору; D – діаметр труби; K – коефіцієнт, який залежить від $\zeta_{l_{зб}} = \lambda_{зб} \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору збірного трубопроводу; $\tilde{f} = \tilde{x}_K = \frac{\mu_{зб} \alpha_n l}{\omega}$ – скважність збірної труби.

Скважністю називають відношення площі отворів перфорації до площі поперечного перерізу труби з урахуванням коефіцієнта витрати.

Збірні трубопроводи повинні забезпечувати технологічно заданий (оптимальний) ступінь рівномірності збору рідини за своєю довжиною.

Заданий ступінь рівномірності збору $\tau_{зб}$ визначається із співвідношення

$$\tau_{зб} = \frac{q_{\min}}{q_{\max}},$$

де $q_{\min}$ і $q_{\max}$ – мінімальна і максимальна приєднані витрати на ділянках однакової довжини в різних частинах трубопроводу.

Значення коефіцієнта k , який входить до розрахункової залежностей, залежить від конструктивних характеристик збірного трубопроводу і визначається за графіком на рис. 1.2.

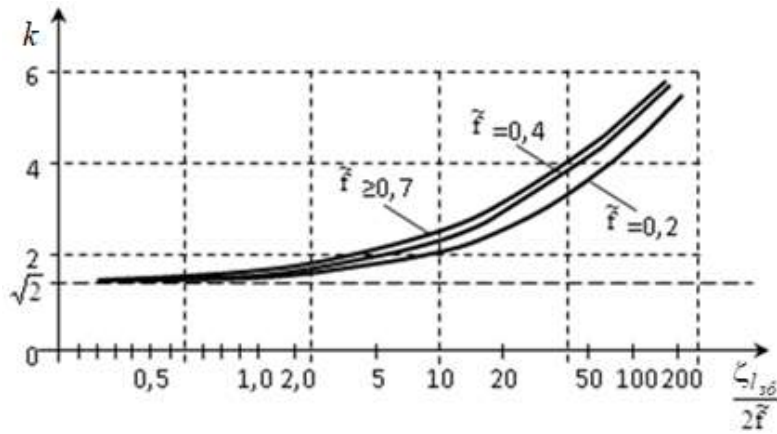


Рис. 1.2

За заданої величини τ_{36} необхідні значення коефіцієнта k , площі отворів на одиницю довжини α_n , скважності $\tilde{f}$, а також кількості (n) і діаметра отворів перфорації (d_{om}) у стінці трубопроводу визначаються за такими формулами:

$$k = \sqrt{2 + \zeta_{l_{36}} \mathcal{D}_{36}}; \quad (1.5)$$

$$\tilde{f}_{onm.} = \frac{M_{36}}{k}; \quad (1.6)$$

$$\alpha_{onm.} = \frac{\omega}{\mu_{36} l} \tilde{f}_{onm.}; \quad (1.7)$$

$$n = \frac{\tilde{f}_{onm.}}{\mu_{36}} \cdot \frac{D^2}{d_{om}^2} = \frac{M_{36}}{\mu_{36} k} \cdot \frac{D^2}{d_{om}^2}. \quad (1.8)$$

У наведених формулах значення параметрів $\mathcal{D}_{36} = \frac{thM_{36}}{2M_{36}}$ і M_{36} залежно від τ_{36} визначаються за табл. 1.1.

Таблиця 1.1

τ_{36}	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,70
M_{36}	0	0,323	0,467	0,586	0,693	0,795	0,896
$\mathcal{D}_{36}$	0,500	0,483	0,467	0,447	0,433	0,416	0,399

У загальному випадку, коли за відомих $\zeta_{l_{36}}$, і $\tilde{f}$ попередньо невідомо τ_{36} , значення коефіцієнта k рекомендується знаходити за графіком на рис.

1.2, після чого за формулою (1.5) обчислювати $D_{зб} = \frac{k^2 - 2}{\zeta_{l_{зб}}}$, а потім за табл.1.1 знаходити фактичний ступінь рівномірності збору $\tau_{зб}$.

При розрахунку збірних дренажних трубопроводів, в які вода надходить у фільтраційному режимі, відносну витрату у перерізі на відстані x від початку труби розраховують за залежністю

$$\bar{Q} = \bar{Q}_{\infty} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{f} - \bar{x}}{2\bar{Q}_{\infty}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{f}}{2\bar{Q}_{\infty}}\right)^2} \right], \quad (1.9)$$

при цьому зміна відносного напору за довжиною дрени буде

$$\bar{z} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{f} - \bar{x}}{2\bar{Q}_{\infty}}\right)^3}, \quad (1.10)$$

де $\bar{Q} = \frac{Q}{\omega \sqrt{gz_K}}$ – відносна витрата в довільному перерізі труби;

$\bar{x} = \frac{x}{\omega \Phi \sqrt{\frac{z_K}{g}}}$ – відносна відстань; $\bar{z} = \frac{z}{z_K}$ – відносний перепад напорів;

$\zeta_{l_{зб}} = \lambda_{зб} \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору збірної дренажної труби;

$\bar{f} = \bar{x}_K = \frac{l}{\omega \Phi \sqrt{\frac{z_K}{g}}}$ – узагальнений параметр збірної дрени, який враховує її

конструктивні і фільтраційні характеристики; Φ – фільтраційний опір дрени, наближено можна брати $\Phi \approx 1/k_\phi$ (тут k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту); $\bar{Q}_{\infty}$ – параметр, що визначається за формулою

$$\bar{Q}_{\infty} = \sqrt[3]{\frac{3\bar{f}}{\zeta_{l_{зб}}}} = \sqrt[3]{\frac{12}{\lambda_{зб} \pi D \Phi \sqrt{\frac{z_K}{g}}}}. \quad (1.11)$$

Розподільчі трубопроводи

Схему роботи розподільчого напірного трубопроводу (каналу) постійного діаметра з рівномірною перфорацією вздовж шляху, без транзитної витрати (з заглушеним кінцевим перерізом) наведено на рис. 1.3.

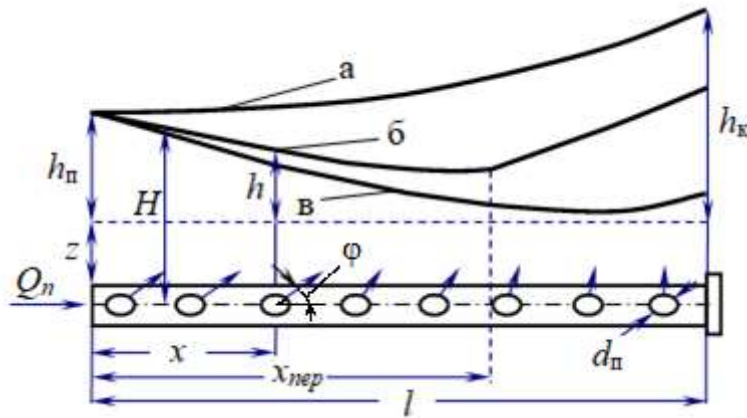


Рис. 1.3

Залежно від характеру поведінки п'єзометричної лінії за довжиною труби (рис 1.3), розподільчі трубопроводи поділяють на: **короткі** (крива *a*), у яких п'єзометрична лінія постійно підвищується за довжиною; **проміжної довжини** (крива *б*), де п'єзометрична лінія спочатку знижується, має точку перегину і в кінці труби дещо підвищується (приблизно можна вважати її горизонтальною); **довгі** (крива *в*), у яких кінцевий напір буде меншим ніж початковий.

Така класифікація базується на оцінці впливу сил інерції і сил тертя на розрахункові параметри (зокрема пропускну здатність) розподільчого трубопроводу. Величина коефіцієнта опору розподільників при цьому буде: $\zeta_{l_p} \leq 3,4$ – для коротких; $3,4 < \zeta_{l_p} < 5,4$ – проміжної довжини; $5,4 \leq \zeta_{l_p}$ – для довгих.

За даними досліджень А.М. Кравчука, проведених на кафедрі водопостачання та водовідведення КНУБА, відносна витрата рідини і відносний п'єзометричний напір у довільному перерізі розподільника буде:

- для відносно коротких і трубопроводів проміжної довжини

$$\bar{Q} = \frac{1}{k} \frac{\sin(k\bar{y})}{\cos(k\bar{f})}, \quad \bar{h} = \frac{\cos(k\bar{y})}{\cos(k\bar{f})}; \quad (1.12)$$

- для відносно довгих трубопроводів

$$\bar{Q} = \frac{1}{k} \frac{sh(k\bar{y})}{ch(k\bar{f})}, \quad \bar{h} = \frac{ch(k\bar{y})}{ch(k\bar{f})}, \quad (1.13)$$

де $\bar{Q} = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh_n}}$ – відносна витрата; $\bar{x} = \frac{\mu_p \alpha_n x}{\omega}$ – відносна відстань;

$\bar{y} = \bar{f} - \bar{x}$; $\bar{h} = \sqrt{\frac{h}{h_n}}$ – відносний напір; h_n , h – відповідно, напір у

початковому перерізі і в перерізі на відстані x від початку труби;

$\zeta_{l_p} = \lambda_p \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору розподільчого трубопроводу;

$\bar{f} = \bar{y}_n = \frac{\mu_p \alpha_n l}{\omega}$ – скважність трубопроводу; λ_p , μ_p – постійні за довжиною,

відповідно, гідравлічний коефіцієнт тертя і коефіцієнт витрати отворів перфорації; k – коефіцієнт, який входить у залежності (1.12), (1.13) залежить від конструктивних характеристик розподільника і визначається за графіком на рис. 1.4.

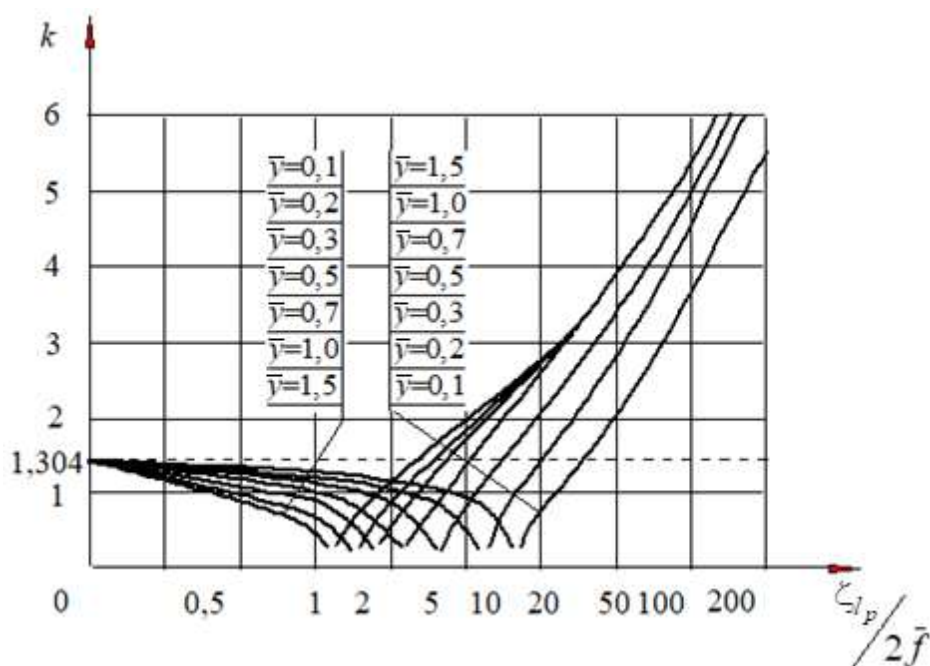


Рис. 1.4

Координату (абсцису) точки перегину п'єзометричної лінії можна знайти за залежністю

$$\frac{\bar{x}_{nep}}{\bar{f}} = 1 - \frac{3,4}{\zeta_{l_p}}. \quad (1.14)$$

Показник рівномірності розподілу рідини τ_p визначається із співвідношення

$$\tau_p = \frac{q_{\min}}{q_{\max}}.$$

За заданих значень $\tau_{p,кор}$ коефіцієнт k обчислюють за формулою

$$k = \sqrt{1,7 - \zeta_{l_p} D_{p,к}}, \quad (1.15)$$

де значення параметрів, $D_{p,к}$, $M_{p,кор}$ залежності від $\tau_{p,кор}$ для відносно коротких розподільників можна знайти за табл. 1.2.

Таблиця 1.2

$\tau_{p,кор}$	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
$M_{p,кор}$	0,142	0,246	0,318	0,376	0,451	0,555	0,644	0,723	0,795
$D_{p,к}$	0,503	0,510	0,518	0,525	0,537	0,558	0,583	0,610	0,641

Для труб проміжної довжини і довгих за відомих значень показника розподілу $\tau_{p,дов}$ коефіцієнт k розраховують за залежністю

$$k = \sqrt{\zeta_{l_p} D_{p,д} - 1,7}. \quad (1.16)$$

Величини параметрів $D_{p,д}$, $M_{p,дов}$ в залежності від $\tau_{p,дов}$ і коефіцієнта опору ζ_{l_p} наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

	$\tau_{p,дов} = 0,99$		$\tau_{p,дов} = 0,95$		$\tau_{p,дов} = 0,90$		$\tau_{p,дов} = 0,8$		$\tau_{p,дов} = 0,7$	
ζ_{l_p}	$M_{p,дов}$	$D_{p,д}$	$M_{p,дов}$	$D_{p,д}$	$M_{p,дов}$	$D_{p,д}$	$M_{p,дов}$	$D_{p,д}$	$M_{p,дов}$	$D_{p,д}$
4,0	0,272	0,488	0,644	0,441	0,976	0,385	1,656	0,281	2,428	0,203
4,5	0,217	0,492	0,505	0,461	0,747	0,424	1,180	0,351	1,636	0,283
5,0	0,194	0,494	0,448	0,469	0,657	0,439	1,011	0,379	1,368	0,321
5,2	0,188	0,494	0,432	0,471	0,635	0,442	0,972	0,386	1,309	0,330
5,5	0,180	0,495	0,415	0,473	0,608	0,446	0,927	0,393	1,235	0,342
6,0	0,173	0,495	0,395	0,475	0,577	0,451	0,873	0,402	1,156	0,354
8,0	0,157	0,496	0,358	0,480	0,520	0,459	0,779	0,418	1,018	0,378

10,0	0,151	0,496	0,344	0,481	0,499	0,462	0,745	0,424	0,968	0,386
15,0	0,147	0,496	0,332	0,482	0,480	0,465	0,715	0,429	0,926	0,394
20,0	0,144	0,497	0,328	0,483	0,474	0,466	0,705	0,431	0,912	0,396
25,0	0,143	0,497	0,326	0,483	0,472	0,466	0,701	0,432	0,906	0,397
30,0	0,143	0,497	0,325	0,483	0,470	0,466	0,698	0,432	0,903	0,397
40,0	0,142	0,497	0,324	0,483	0,469	0,466	0,696	0,432	0,900	0,398

Оптимальну площу отворів перфорації на одиницю довжини розподільного трубопроводу $a_{\text{опт}}$ і скважність $\bar{f}_{\text{опт}}$, за яких буде забезпечуватися технологічно заданий (оптимальний) ступінь рівномірності роздачі, обчислюють за формулами

$$\alpha_{\text{опт.}} = \frac{\omega}{\mu_p l} \bar{f}_{\text{опт.}}; \quad \bar{f}_{\text{опт.}} = \frac{M_p}{k}. \quad (1.17)$$

Площа перерізу розподільника ω та його діаметр D визначаються залежно від величини необхідної витрати води, що подається, і допустимої швидкості руху рідини на початку труби (беруть за технологічним завданням).

При виключенні з роботи ємнісної очисної споруди для профілактичного ремонту або промивання резервуар випорожнюється через перфорований трубопровід, прокладений на його дні (рис. 1.5 а).

Витікання рідини відбувається в неусталеному режимі, тобто за змінної з часом глибини в резервуарі над віссю труби $H_{p,t}$.

Витрату в кінцевому перерізі перфорованого трубопроводу в будь-який момент часу можна знайти з формули (1.3), представленої у вигляді:

$$Q_{k,t} = \frac{\Omega}{k} th(k\tilde{f}) \sqrt{2g(H_{p,t} - h_{\text{кін.т}})}, \quad (1.18)$$

де $H_{p,t}$ і $h_{\text{кін.т}}$ – відповідно, глибина води над віссю труби і п'єзометричний напір у її кінці в даний момент часу; Ω – площа дзеркала вільної поверхні води в резервуарі (для прямокутного резервуару $\Omega = lB$).

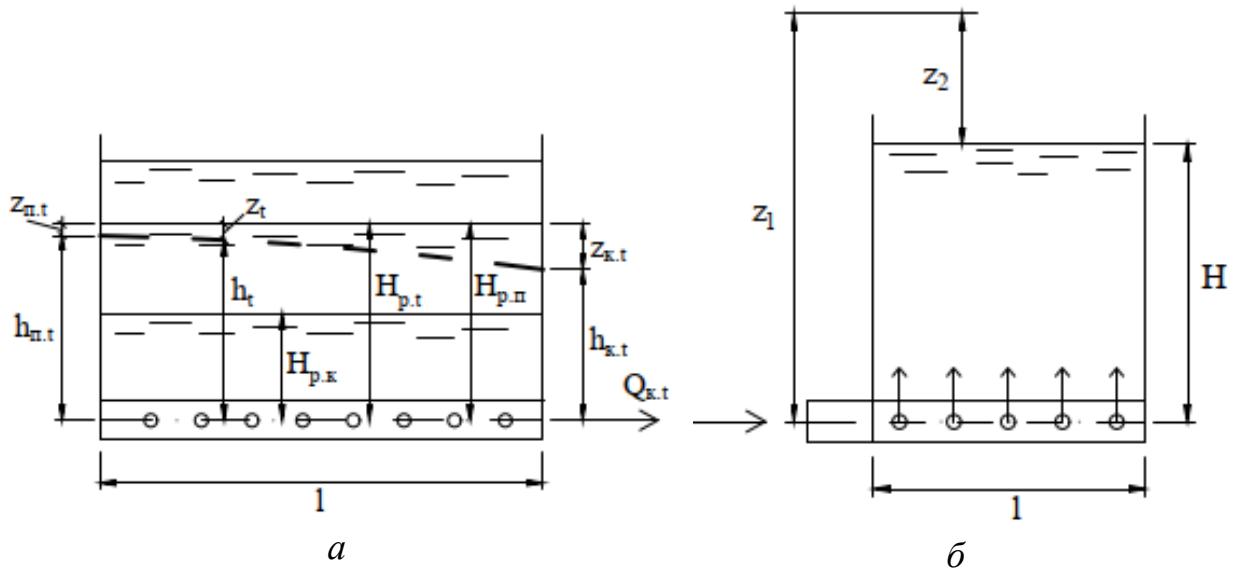


Рис. 1.5

Час часткового випорожнення резервуару від глибини $H_{p.1}$ до $H_{p.2}$ визначається за формулою

$$\Delta t = 2 \frac{\Omega k}{th(k\tilde{f})\omega\sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_{p.1} - h_{кін.1}} - \sqrt{H_{p.2} - h_{кін.2}} \right), \quad (1.19)$$

де $h_{кін.1}$, $h_{кін.2}$ – п'єзометричні напори в кінці перфорованого трубопроводу в різні моменти часу.

Час повного випорожнення резервуару становить

$$t = 2 \frac{\Omega k}{th(k\tilde{f})\omega} \sqrt{\frac{H_{p.1}}{2g}} = \frac{2k\Omega H_{p.1}}{th(k\tilde{f})\omega\sqrt{2gH_{p.1}}} = \frac{2Wk}{Q_{к.1}}. \quad (1.20)$$

де $W = H_{p.1} \Omega$ – початковий об'єм води в резервуарі.

У разі заповнення резервуару за допомогою перфорованого трубопроводу від глибини H_1 до H_2 (рис. 1.5, б) час наповнення визначається за формулою (1.21) для коротких трубопроводів

$$t = 2 \frac{\Omega k}{tg(k\bar{f})\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{z_1} - \sqrt{z_2}) \quad (1.21)$$

і за формулою (1.22) – для довгих

$$t = 2 \frac{\Omega k}{th(k\bar{f})\omega} (\sqrt{z_1} - \sqrt{z_2}). \quad (1.22)$$

2. ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ

Робоча програма

Диференційні рівняння, які описують процес видалення забруднень з води у разі її протікання через зернисте середовище. Основні характеристики фільтрів. Втрати напору в чистому фільтрі. Зміна втрат напору у фільтрі залежно від часу його роботи. Умови тривалості роботи фільтрів. Розрахунок часу ефективної роботи фільтра.

Методичні вказівки

У процесі вивчення поданої теми потрібно розглянути основні закономірності процесу фільтрування, проаналізувати систему диференційних рівнянь, які описують процес видалення забруднень з води і їх накопичення у зернистому завантаженні фільтра.

Змінна з часом і за висотою завантаження фільтра, відносна концентрація забруднень ($\bar{C}$) і концентрація на виході з фільтра ($\bar{C}_\kappa$) визначається за відповідними залежностями

$$\bar{C} = 2e^{-\frac{2\bar{\alpha}\bar{z}}{2+\bar{\beta}\bar{t}}} - e^{-\bar{\alpha}\bar{z}}, \quad (2.1)$$

$$\bar{C}_\kappa = 2e^{-\frac{2\bar{\alpha}}{2+\bar{\beta}\bar{t}}} - e^{-\bar{\alpha}} = e^{-\bar{\alpha}} \left(2e^{\frac{\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{t}}{2+\bar{\beta}\bar{t}}} - 1 \right). \quad (2.2)$$

Зміну з часом відносної концентрації затриманого осаду за висотою фільтра ($\bar{S}$) і її величину в початковому перерізі ($\bar{S}_n$) пропонується визначати за формулами

$$\bar{S} = \frac{2\bar{\alpha}\bar{t}}{2+\bar{\beta}\bar{t}} e^{-\frac{2\bar{\alpha}\bar{z}}{2+\bar{\beta}\bar{t}}}, \quad (2.3)$$

$$\bar{S}_n = \frac{2\bar{\alpha}\bar{t}}{2 + \bar{\beta}\bar{t}}. \quad (2.4)$$

У залежностях (2.1) – (2.4) узято такі безрозмірні змінні:

$$\bar{C} = \frac{C}{C_0}; \quad \bar{S} = \frac{S}{n_0 C_0}; \quad \bar{t} = \frac{Vt}{n_0 L}; \quad \bar{z} = \frac{z}{L}; \quad \bar{k} = \frac{k}{k_0}; \quad \bar{n} = \frac{n}{n_0}; \quad \bar{\alpha} = \frac{\alpha L}{V};$$

$$\bar{\beta} = \frac{\beta n_0 L}{V},$$

де C_0 – початкова концентрація забруднень (масова, мг/л), (об’ємна, дм³/дм³); L – товщина фільтрувального шару, м; z – відстань від верхнього шару завантаження до перерізу, що розглядається, м; t – час роботи фільтра, с; k_0 – коефіцієнт фільтрації чистого завантаження, м/с; V – швидкість фільтрування, м/с; n_0 – пористість фільтрувального чистого завантаження; α – коефіцієнт швидкості прилипання частинок зависі до поверхні зерен фільтрувального завантаження, м⁻¹; β – коефіцієнт швидкості відриву раніше прилиплих частинок зависі, с⁻¹.

Втрати напору в чистому фільтрі визначаються за залежністю

$$h_0 = \frac{5,2 \cdot 6\gamma_\phi v(1-n_0)L \cdot 6(1-n_0)\gamma_\phi V^2}{Vd_e d_e n_0^3 g} = \frac{187\gamma_\phi^2 (1-n_0)^2 vLV}{n_0^3 g d_e^2}, \quad (2.5)$$

де d_e – еквівалентний діаметр зерна фільтрувального завантаження, м; v – кінематична в’язкість рідини, м²/с; γ_ϕ – коефіцієнт форми, який враховує відмінність форми зерен фільтрувального матеріалу від кулеподібної.

Для розрахунку приросту втрат напору використовують залежність

$$\Delta h = h_0 \left\{ \frac{1}{A} \ln \frac{e^A - B}{1 - B} - \frac{2B(1 - e^A)}{A(1 - B)(e^A - B)} - \frac{B^2}{2A} \left[\frac{1}{(e^A - B)^2} - \frac{1}{(1 - B)^2} \right] \right\}, \quad (2.6)$$

де $A = \frac{2\bar{\alpha}}{2 + \bar{\beta}\bar{t}}$; $B = \frac{2\bar{\alpha}\gamma\tilde{C}_0\bar{t}}{2 + \bar{\beta}\bar{t}}$; $\tilde{C}_0$ – початкова об’ємна концентрація зависі (дм³/дм³); γ – емпіричний коефіцієнт, який показує відношення концентрації осаду до концентрації твердих частинок у ньому ($\gamma=0,0005 - 0,05$).

Час захисної дії фільтра (тривалість фільтроцикла) розраховується за залежністю

$$\bar{t}_3 = \frac{2}{\beta} \frac{B}{\bar{\alpha} - B}, \quad (2.7)$$

де $B = \ln \frac{\bar{C}_{k*} e^{\bar{\alpha}} + 1}{2}$; $\bar{C}_{k*}$ – технологічно задана гранично допустима відносна концентрація забруднень у кінцевому перерізі фільтра.

Висоту (товщину) шару завантаження, яка за відомих значень C_{k*} , швидкості фільтрування V і заданому часі роботи фільтра t , буде забезпечувати заданий ступінь очищення C_{k*} , рекомендується знаходити за формулою

$$L = \frac{V t \beta}{2 n_0} \frac{\bar{\alpha} - B}{B}. \quad (2.8)$$

Необхідну швидкість фільтрування V , за якої будуть забезпечені задані параметри C_{k*} , t , L можна розраховувати за залежністю

$$V = \frac{2 n_0 L}{t \beta} \frac{B}{\bar{\alpha} - B}. \quad (2.9)$$

3. ВІДСТОЮВАННЯ РІДИН

Робоча програма

Відносний рух твердих тіл і рідини. Осідання твердих тіл у рідині. Гідравлічна крупність. Осідання моно- і полідисперсної зависі. Вільне і стиснене осідання твердих частинок у рідині. Принципи розрахунку відстійників і контактних прояснювачів із завислим шаром.

Методичні вказівки

Потрібно ознайомитись з особливостями відносного руху твердих тіл і рідини. Визначення сили опору тертя і сили опору тиску.

Під час розрахунку процесів осідання важливе значення має поняття **гідравлічної крупності частинки** (швидкості осідання одиночної частинки у воді, що знаходиться в стані спокою за температури 10 °С), яка знаходиться за залежністю

$$V_{\text{с.к}} = \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho_p)gd_e}{3\rho_p C_{\text{тис}}}}, \quad (3.1)$$

де ρ_m – щільність твердої частинки; ρ_p – густина рідини; d_e – еквівалентний діаметр частинки; $C_{\text{тис}}$ – коефіцієнт опору при русі частинки в рідині, величина якого залежить від форми частинки і режиму руху рідини (числа Рейнольдса).

За ламінарного режиму падіння частинки, тобто за чисел Рейнольдса $Re = \frac{V_{\text{с.к}} d_e}{\nu} \leq 2$, коефіцієнт опору буде $C_{\text{тис}} = \frac{24}{Re}$, з урахуванням чого одержимо

$$V_{\text{с.к}} = \frac{(\rho_c - \rho_p)}{18\mu} g d^2, \quad (3.2)$$

де $\mu = \rho_p \nu$ – динамічна в'язкість рідини.

Максимальний діаметр (розмір) частинок, осідання яких відбувається в ламінарному режимі, можна знайти за формулою

$$d_{\text{max}} = 3 \sqrt{\frac{36\mu^2}{\rho_p g (\rho_c - \rho_p)}}. \quad (3.3)$$

У разі перехідного режиму руху за умов осідання кулеподібної частинки у воді ($2 < Re < 500$), коефіцієнт опору тиску визначається за залежністю

$$C_{\text{тис}} = \frac{18,5}{Re^{0,6}}. \quad (3.4)$$

Швидкість осідання (гідравлічна крупність частинки) для цього випадку становитиме

$$V_{\text{с.к}} \approx 0,78 \frac{d^{0,43} (\rho_c - \rho_p)^{0,715}}{\rho_p^{0,285} \mu^{0,43}}. \quad (3.5)$$

За значень $Re > 500$ коефіцієнт опору стає незалежним від числа Re і рівним 0,47. У цій області рівняння (3.1) набуде вигляду

$$V_{\text{с.к}} \approx 5,46 \sqrt{\frac{d(\rho_c - \rho_p)}{\rho_p}}. \quad (3.6)$$

За даними А.П. Зегджа для піску і гравію і Л.І. Седова для куль при визначенні коефіцієнта опору таких частинок можна користуватись графіком на рис. 3.1.

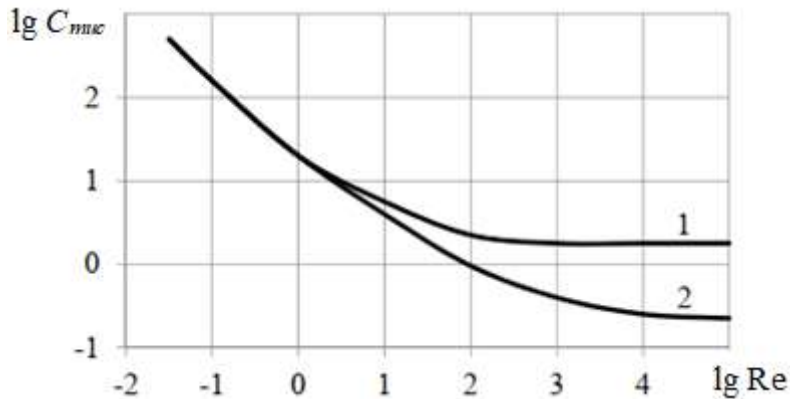


Рис. 3.1

У загальному випадку швидкість стисненого осідання можна визначати за залежністю

$$V_{c.o} = \beta \cdot V_{z.k}, \quad (3.7)$$

де β – коефіцієнт зменшення швидкості стисненого осідання порівняно зі швидкістю вільного осідання (величиною гідравлічної швидкості), який можна визначати за графіком (рис. 3.2) залежно від об’ємної концентрації зависі C^1 та її безрозмірної гідродинамічної характеристики ε^1 .

За $d_e \leq 0,12$ мм можна узяти $\varepsilon^1 = 4,5$; за $d_e \geq 10$ мм – $\varepsilon^1 = 0,23$. Для проміжних значень діаметрів частинок величина ε^1 визначається за формулою

$$\varepsilon^1 = \frac{24(4,5 + 0,0125 Re_q \sqrt{C_{тис}})}{Re_q C_{тис}}, \quad (3.8)$$

де коефіцієнт опору $C_{тис}$ для вільного осідання можна знайти з графіка (рис. 3.1), а коефіцієнт β за залежністю

$$\beta = -\varepsilon^1 C^1 + \sqrt{\varepsilon^{1^2} C^{1^2} + (1 - C^1)^3}. \quad (3.9)$$

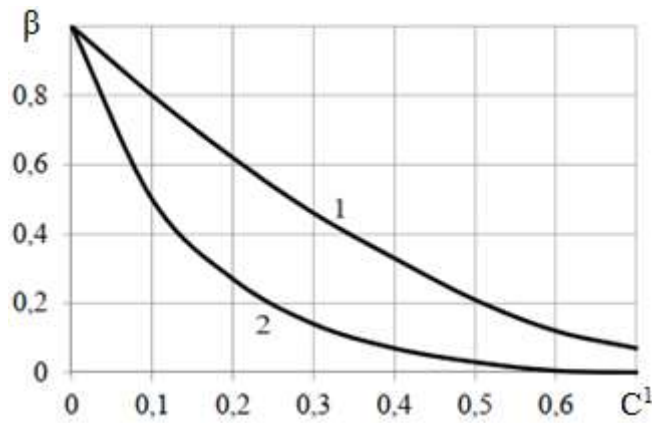


Рис. 3.2

4. ОСОБЛИВОСТІ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ СТІЧНИХ ВОД У САМОПЛИВНИХ ТРУБАХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Робоча програма

Відносні швидкісна і витратна характеристики. Критична глибина і критичний похил у самопливних трубах. Перепади, гідравлічний стрибок і гасителі енергії в каналізаційних трубах.

Методичні вказівки

Для аналізу параметрів нерівномірного руху стічних вод у самопливних трубах застосовуються загальні рівняння нерівномірного руху з тією особливістю, що основні характеристики руху залежать від діаметра D (або радіуса r) труби і ступеня наповнення $\Delta = h/r$.

Як відомо з основного курсу гідравліки, за неповного (часткового) наповнення труби основні характеристики безнапірних каналів визначаються таким чином: $\omega = \omega^1 r^2$, $\chi = \chi^1 r$, $R = R^1 r$, де відносні значення ω^1 , χ^1 , R^1 залежать від ступеня наповнення перерізу $\Delta = h/r$ і наводяться в таблицях або на графіках. Наприклад, для труб круглого перерізу ці величини наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

$\Delta = h/r$ або $\Delta_k = h_k/r$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,8	2,0
$\omega^1 = \omega/r^2$	0,447	0,793	1,174	1,571	2,35	2,98	3,14
$\chi^1 = \chi/r$	1,86	2,32	2,74	3,14	3,97	5,0	6,28
$R^1 = R/r$	0,241	0,342	0,429	0,5	0,59	0,6	0,61
$f(\Delta_k) = P_Q$	0,056	0,273	0,876	1,939	7,08	22,0	∞
$D_* = y^1 \omega^{1/2}$	0,033	0,155	0,462	1,05	3,41	7,56	9,87
E	2,5	0,795	0,361	0,202	0,09	0,06	0,05

Середня швидкість (V) і витрата води (Q) в трубопроводі за його часткового наповнення визначаються за формулами

$$V = BW_n \sqrt{i}, \quad Q = AK_n \sqrt{i}, \quad (4.1)$$

де B і A – відповідно, відносна швидкісна і витратна характеристики, які залежать від ступеня наповнення труби Δ [1]; $W_n = \frac{1}{n} R_n^{0,67} = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{0,67}$ – швидкісна характеристика труби за повного наповнення, яка залежить від діаметра і матеріалу трубопроводу і наводиться у довідниках; $K_n = \omega_n W_n$ – витратна характеристика труби, яка також залежить від діаметра і матеріалу трубопроводу і наводиться у довідниках.

Для критичної глибини в перерізі справедливе співвідношення

$$f_1(\Delta_k) = \Pi_Q, \quad (4.2)$$

де $f_1(\Delta_k)$ – функція від критичного наповнення Δ_k ; $\Pi_Q = \frac{\alpha Q^3}{gr^5}$ – витратний параметр труби.

Визначивши за (4.2) $f_1(\Delta_k)$, за табл. 4.1 знаходять Δ_k і $h_k = \Delta_k r$.

Під час обчислення перепадів у круглих водовідвідних самопливних трубах (рис. 4.1) відносна площа живого перерізу над перепадом $\omega_n^1 = \omega_n / r^2$ визначається за залежністю

$$\omega_n^1 = \frac{\omega_1^1}{1 + D_* / \Pi_Q}, \quad (4.3)$$

де $D_* = \omega_1^1 \omega_1^{1^2}$ – безрозмірний параметр, який залежить від наповнення труби (табл. 4.1); $\omega_1^1 = \omega_1 / r^2$ – відносна площа в перерізі 1-1 (за переріз 1-1 беруть за спокійного стану потоку перед перепадом – переріз з критичною глибиною h_k ; при бурхливому стані потоку і рівномірному русі води перед перепадом – переріз з нормальною глибиною h_0).

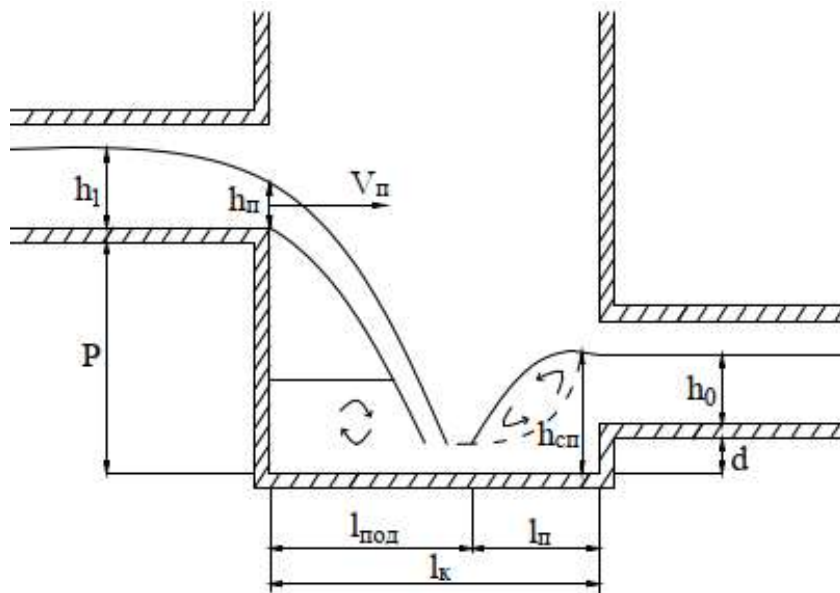


Рис. 4.1

Середня швидкість у перерізі над перепадом V_n

$$V_n = V_1 \left(1 + \frac{D_*}{\Pi_Q} \right), \quad (4.4)$$

де V_1 – середня швидкість у перерізі 1-1.

Відносна площа потоку в стисненому перерізі гідравлічного стрибка розраховується за залежністю

$$\omega_c^1 = \frac{0,707 \sqrt{\Pi_Q}}{\varphi \sqrt{T_0^1 - \Delta_c}}, \quad (4.5)$$

де $T_0^1 = T_0/r = \frac{P}{r} + \Delta_1 + \Pi_Q E_1$; P – висота перепаду; φ – коефіцієнт швидкості, значення якого наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

$P h_k / h_g^2$	2,4 і менше	3,5	5,0	7,0	9,0	11,0
φ	1	0,97	0,92	0,87	0,83	0,79

Рівняння (4.5) розв'язується методом послідовних наближень. Задавшись величиною Δ_c , визначають ω_c^1 у першому наближенні і уточнюють за табл. 4.1 значення Δ_c . Потім знову визначають ω_c^1 і т.д. Розрахунок вважається закінченим, коли два послідовних наближення ω_c

(або Δ_c) майже не відрізняються (до 5 %). За знайденим значенням Δ_c визначається глибина у стисненому перерізі $h_c = \Delta_c r$.

Потрібно знати особливості гідравлічного стрибка в трубах водовідведення, рівняння якого у стисненому перерізі може бути представлене у вигляді:

$$\frac{P_Q + D_{*1}}{\omega_c^1} = \frac{P_Q + D_{*2}}{\omega_{cn}^1}, \quad (4.6)$$

де D_{*1}, D_{*2} – безрозмірні параметри, що залежать від наповнення труби в цих перерізах (Δ_c і Δ_{cn}); $\omega_c^1, \omega_{cn}^1$ – відносні площі у перерізах відповідно до і після гідравлічного стрибка з глибинами h_c і h_{cn} .

У разі потреби розраховуються розміри водобійного колодязя:

- глибина водобійного колодязя

$$d \approx h_{cn} - h_0; \quad (4.7)$$

- довжина колодязя у разі вертикальної стінки падіння перепаду (рис. 4.1)

$$l_k = l_{\text{пад}} + l_{\text{стр}}, \quad (4.8)$$

де $l_{\text{пад}}$ – довжина падіння струмینی;

$$l_{\text{пад}} = V_n \sqrt{\frac{2P + h_n}{g}}, \quad (4.9)$$

де V_n і h_n – швидкість і глибина потоку над стінкою падіння; P – висота перепаду.

Довжина гідравлічного стрибка в колодязі $l_{\text{стр}}$ визначається за формулою В.С. Кальфи:

$$l_{\text{стр}} \approx 6 \frac{\omega_2^1 - \omega_1^1}{b_c^1} r, \quad (4.10)$$

де $b_c^1 = b_c / r$ (b_c – ширина потоку в стисненому перерізі).

5. РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ ГІДРОТРАНСПОРТУ

Робоча програма

Основні поняття і визначення, сфера застосування гідротранспорту. Критична швидкість руху і витрата гідросуміші. Методи гідравлічного розрахунку пульпопроводів. Насоси для перекачування пульпи.

Методичні вказівки

У процесі аналізу характеристик пульпопроводів потрібно ознайомитись з поняттям критичної швидкості руху пульпи, вміти застосовувати розрахункові залежності для визначення втрат напору за довжиною і в місцевих опорах у даному випадку, вміти підбирати насосне обладнання для перекачування гідросуміші.

Гідравлічним транспортом (гідротранспортом) називається процес переносу різних, порівняно дрібних матеріалів, потоком рідини по штучним руслам: канавам, лоткам, трубам. Транспортувальним середовищем зазвичай слугує вода.

Гідросумішшю називають суміш достатньо штучно подрібненого твердого матеріалу з водою. У будівельній галузі до гідросумішей відносять цементні, крейдянні і вапняні розчини. На практиці суміш води з подрібненими рудами часто називають **пульпою**, а трубопроводи для її транспортування – **пульпопроводами**. За своїми характеристиками загалом гідросуміші відносяться до неньютонівських рідин.

Середня швидкість потоку гідросуміші, за якої починається випадіння твердих частинок на дно називається **критичною швидкістю** ($V_{кр}$). Її значення можна розраховувати за емпіричною формулою А.Є. Іванова

$$V_{кр} = 1,88 \sqrt{\frac{gDV_{гк}}{\lambda} \frac{\rho_n - \rho_e}{\rho_e}}, \quad (5.1)$$

де $V_{гк}$ – гідравлічна крупність частинок, що транспортуються; D – діаметр трубопроводу; λ – гідравлічний коефіцієнт тертя при русі чистої води в даному трубопроводі; ρ_n – густина пульпи; ρ_e – густина води.

Витрата гідросуміші за критичнох швидкості визначається за залежністю

$$Q_{сум.кр} = \frac{\pi D^2}{4} V_{кр}. \quad (5.2)$$

За витрати гідросуміші $Q_{\text{сум}}$ менше за величину $Q_{\text{сум.кр}}$ висота нерухомого шару відкладення ґрунту $\Delta H_{\text{гр.}}$ у горизонтальному трубопроводі визначається за залежністю

$$\Delta H_{\text{гр}} = 0,4D\sqrt[3]{\frac{Q_{\text{сум.кр}}}{Q_{\text{сум}}}} - 1, \text{ м.} \quad (5.3)$$

Діаметр трубопроводу рекомендується підбирати з урахуванням роботи системи без замулення.

Питомі втрати напору при гідравлічному транспорті гідросуміші в горизонтальних напірних трубопроводах розраховуються за формулою

$$I_{\text{сум}} = I + \Delta I, \quad (5.4)$$

де $I_{\text{сум}}$, I – відповідно, питомі втрати напору при русі гідросуміші і при русі такої ж витрати чистої води; ΔI – додаткові питомі втрати напору пов’язані з наявністю в потоці гідросуміші твердих частинок.

Питомі втрати напору при русі чистої води обчислюються за відомою залежністю

$$I = \lambda \frac{V^2}{2gD}, \quad (5.5)$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя трубопроводу при русі чистої води, який можна визначати за відомими із загального курсу гідравліки формулами (наприклад, формулою А.Д. Альтшуля)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{екв}}}{D} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (5.6)$$

Розрахунок додаткових питомих втрат напору виконується за залежністю

$$\Delta I = \delta \sqrt[4]{j} \sqrt[3]{C_0^2} \frac{Q_{\text{сум.кр}}}{Q_{\text{сум}}}, \quad (5.7)$$

де δ – коефіцієнт, який враховує вплив відносної крупності частинок ґрунту, d_0/D і для діаметрів труби $D = 100 - 350$ мм визначається за табл. 5.1.

Таблиця 5.1

d_0/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0	$\geq 4,0$
δ	0,09	0,14	0,18	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30

За $100d_0/100 \leq 0,05$ коефіцієнт $\delta = 0,05$. $j = \frac{3d_{10}}{d_{90}}$ – коефіцієнт різнозернистості частинок ґрунту; d_{10} і d_{90} – крупності частинок ґрунту, менше яких у складі міститься менше, відповідно, 10 і 90 %, вони визначаються на основі аналізу по кривій гранулометричного складу ґрунту.

Втрати напору в місцевих опорах визначаються за відомою формулою Вейсбаха з урахуванням впливу твердих частинок у гідросуміші

$$h_m = \zeta_m \frac{V^2}{2g} \frac{\rho_{\text{сум}}}{\rho_v}, \quad (5.8)$$

де ζ_m – коефіцієнт місцевих опорів при транспортуванні води.

Сумарні втрати напору

$$H = k(IL + \Delta IL + \Sigma h_m) + h_z, \quad (5.9)$$

де $k = 1,15$ – коефіцієнт запасу; L – довжина трубопроводу; Σh_m – сума втрат напору в місцевих опорах; $h_z = \pm \Delta z \frac{\rho_{\text{сум}}}{\rho_v}$ – напір, який враховує різницю геодезичних відміток у початковій і кінцевій точках розрахункової ділянки.

Необхідний напір насоса для перекачки гідросуміші становить

$$H_{\text{нас.сум}} = H_{\text{нас.в}} \left(1 + \frac{C_0^{1,2}}{\sqrt{\psi}} \right), \quad (5.10)$$

де $H_{\text{нас.в}}$ – напір насоса при подачі чистої води, м; ψ – коефіцієнт, який враховує здатність ґрунту транспортуватись потоком води і залежить від гідравлічної крупності частинки ґрунту. Значення коефіцієнта ψ наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Фракція ґрунту, мм	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-0,1	1-2	2-3	3-5	5-10	> 10
ψ	0-0,2	0,2	0,4	0,8	1,2	1,5	1,8	1,9	2

Для забезпечення устійної роботи даних систем приймається, що робоча швидкість руху пульпи повинна бути

$$V = 1,1V_{\text{кр}}. \quad (5.11)$$

6. РОЗРАХУНОК МУЛОПРОВОДІВ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Склад мулової суміші. Ламінарний і турбулентний режими руху частинок мулу. Залежності для розрахунку мулопроводів.

Методичні вказівки

Ознайомитись з фізичними характеристиками мулової суміші. Навчитись використовувати розрахункові залежності для визначення втрат напору за довжиною і в місцевих опорах при русі мулу.

Осад і різні мули характеризуються дисперсним гранулометричним складом.

Втрати напору в мулопроводах рекомендується визначати за формулою

$$h_m = h_n + \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}, \quad (6.1)$$

де l , D – відповідно, довжина і діаметр мулопроводу, м; h_n – напір, необхідний для подолання в'язкопластичних властивостей осаду (початковий напір, який треба прикласти до рідини, що знаходиться у трубі, для того щоб почався рух),

$$h_n = 1360(1 - p^1) \frac{l}{D^{2,25}}, \quad (6.2)$$

де D – діаметр мулопроводу у формулі, см; λ – гідравлічний коефіцієнт тертя, який залежить від вологості і розраховується за формулою

$$\lambda = 0,214 p^1 - 0,191, \quad (6.3)$$

де p^1 – вологість осаду.

Залежність (6.3) можна використовувати для труб діаметром від 200 до 400 мм. Для діаметра 150 мм значення λ потрібно збільшити на 0,01.

7. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ РУСІ СТИСЛИВОЇ РІДИНИ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Умови, за яких треба враховувати стисливість рідин (газів). Фізичний зміст критерія Маха. Рівняння стану. Рівняння Бернуллі для стисливих рідин. Основні залежності для розрахунку трубопроводів при русі стисливої рідини.

Методичні вказівки

Ознайомитись з умовами, коли під час гідравлічних розрахунків треба враховувати стисливість рідин (газів). Ознайомитися з поняттями масової і об'ємної витрати. З рівняння Бернуллі для стисливих рідин

$$dp + \rho V dV + \lambda \frac{dl}{D} \rho \frac{V^2}{2} = 0 \quad (7.1)$$

отримано залежність для визначення втрат тиску в трубопроводі при русі стисливої рідини у вигляді

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{1}{1 - 0,5 \frac{\Delta p}{p_1}} \lambda \frac{l}{D} \frac{M^2}{2 \omega^2 \rho_1}, \quad (7.2)$$

де p_1 і p_2 – тиск на початку і в кінці трубопроводу; l , D , ω – довжина, діаметр і площа перерізу трубопроводу; M – масова витрата газу; λ – гідравлічний коефіцієнт тертя.

Густина газу в початковому перерізі ρ_1 визначається з рівняння стану

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R_* T}, \quad (7.3)$$

де T – термодинамічна температура, K ($K = 273 + t^0C$); R_* – універсальна газова стала, для повітря $R_* = 287$ Дж/(кг·К), для метана $R_* = 520$ Дж/(кг·К).

Рівняння (7.2) відрізняється від формули Дарсі – Вейсбаха для визначення втрат тиску при русі нестисливої рідини лише одним множником, який залежить від величини відношення $\Delta p/p_1$, його слід вирішувати підбором. У першому наближенні приймаємо, що газ нестисливий, тоді Δp визначаємо за формулою Дарсі

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{D} \frac{M^2}{2\omega^2 \rho}.$$

До знайденого значення Δp підставляємо праву частину формули (7.2) і знаходимо нове значення Δp у другому наближенні. Таку операцію повторюємо до тих, пір поки два послідовні значення Δp будуть відрізнятися між собою не більше ніж на 5 %.

З рівняння (7.2) за відомих значень Δp вираз для пропускної здатності (масової витрати) газопроводу з урахуванням стисливості газу буде мати вигляд:

$$M = \omega \sqrt{2 \frac{(p_1 - p_2) \left(1 - 0,5 \frac{\Delta p}{p_1}\right) D \rho_1}{\lambda l}}. \quad (7.4)$$

Гідравлічний коефіцієнт тертя λ , який входить у залежності (7.2), (7.4) рекомендується розраховувати за тими ж формулами, що і при русі нестисливої рідини, наприклад, за універсальною формулою А.Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{D} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (7.5)$$

8. РУХ ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Розрахунок втрат тиску за довжиною і в місцевих опорах при русі газорідинних потоків. Особливості і закономірності руху одиночної бульбашки у рідині.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з областю застосування різних режимів руху газорідинних потоків, зокрема барботажного. Вміти визначати втрати тиску при цьому. Вивчити основні закономірності підйому одиночної бульбашки в рідині.

Режим бульбашкового (барботажного) руху газорідинного потоку широко застосовується під час експлуатації різних споруд водопостачання і водовідведення. У такому потоці одночасно переміщуються дві фази: рідинна і газова, кожна зі своєю швидкістю. Але, незважаючи на це, в інженерних розрахунках розглядають середовище як гомогенну суміш, тобто однорідну рідину з середньою густиною суміші $\rho_{\text{сум}}$ і середньою швидкістю $V_{\text{сум}}$.

Середню швидкість суміші визначають за залежністю

$$V_{\text{сум}} = \frac{Q_p + Q_g}{\omega}, \quad (8.1)$$

а середню густина – за формулою

$$\rho_{\text{сум}} = \rho_g \varphi + \rho_p (1 - \varphi) \approx \rho_p (1 - \varphi). \quad (8.2)$$

Втрати тиску при русі газорідинної суміші отримують за відомими залежностями:

- за довжиною

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{D} \rho_{\text{сум}} \frac{V_{\text{сум}}^2}{2}; \quad (8.3)$$

- в місцевих опорах

$$\Delta p_m = \zeta_m \rho_{\text{сум}} \frac{V_{\text{сум}}^2}{2}, \quad (8.4)$$

де $\varphi = \frac{W_g}{W_{\text{сум}}}$ – дійсне об'ємне газовміщення, відношення в потоці між об'ємом газової фази (W_g) і об'ємом суміші ($W_{\text{сум}}$). При цьому число Рейнольдса буде

$$\text{Re}_{\text{сум}} = \frac{V_{\text{сум}} D}{\nu_p}, \quad (8.5)$$

де ν_p – кінематична в'язкість рідинної фази.

Діаметр газової бульбашки в рідині d_b при виході з отвору діаметром d_0 залежить від фізичних властивостей рідини і газу, визначається за формулою

$$d_{\sigma} = \sqrt[3]{\frac{6d_o\sigma}{(\rho_p - \rho_z)g}}, \quad (8.6)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини.

Окремі значення σ на границі між водою і повітрям залежно від температури наведені у табл. 8.1.

Таблиця 8.1

$t, ^\circ\text{C}$	10	15	20	30
$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$	74,95	74,23	72,75	71,2

За наявності ланцюжка бульбашок, що виходять з отвору при їх дотиканні одна до одної, можна прийняти, що швидкість утворення кожної наступної дорівнюватиме швидкості відриву попередньої бульбашки, а її діаметр

$$d_{\sigma} = \sqrt[3]{\frac{6Q_z}{\pi V_{\sigma}}}, \quad (8.7)$$

де Q_z – об'ємна витрата газу, $\text{см}^3/\text{с}$; V_{σ} – швидкість підйому одиночної бульбашки, $\text{см}/\text{с}$.

Експериментальна залежність швидкості підйому бульбашки від її діаметра наведена на рис.8.1.

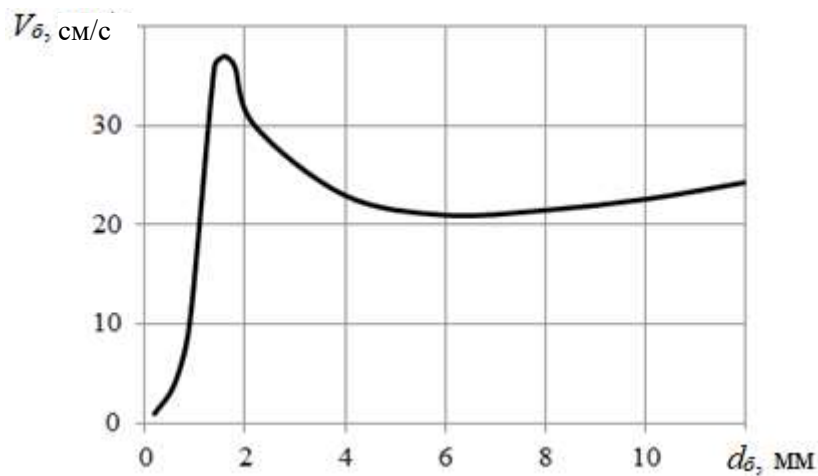


Рис. 8.1

Загальна формула для визначення швидкості підйому бульбашок має вигляд

$$V_{\delta} = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_z)gd_{\delta}}{3\rho_p C_{on}}}, \quad (8.8)$$

де C_{on} – коефіцієнт опору, який залежить від форми бульбашки, яку обтікає рідина, числа Рейнольдса і може визначатись за графіком на рис. 8.2 (крива б відповідає коефіцієнту опору твердої кулі).

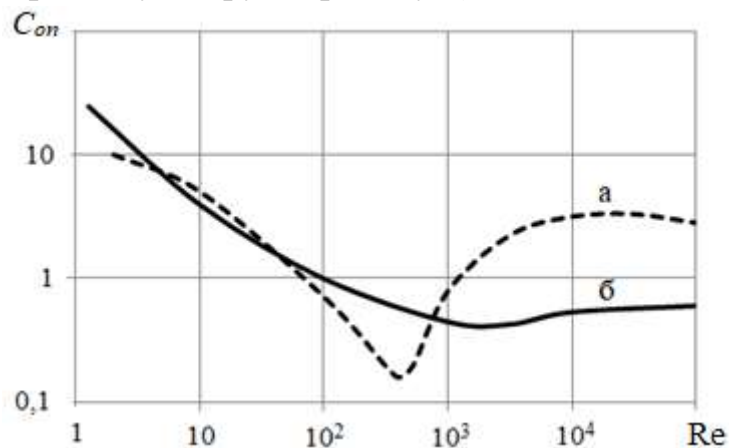


Рис. 8.2

Увесь діапазон зміни швидкості підйому бульбашок орієнтовно можна розділити на чотири зони.

1. Діаметр бульбашок $d_{\delta} < 0,2$ мм, при цьому $Re = \frac{V_{\delta} \cdot d_{\delta}}{\nu} \leq 2$.

Вважають, що бульбашки такого розміру мають форму, яка практично не відрізняється від форми кулі, і поводяться як тверді частинки. При цьому коефіцієнт опору визначають за теоретичною формулою Стокса

$$C_{on} = \frac{24}{Re} = \frac{24\nu}{V_{\delta}d_{\delta}}. \quad (8.9)$$

2. Діаметр бульбашок $0,2 \text{ мм} < d_e < 1,4 \text{ мм}$ за чисел Рейнольдса $2 < Re < 490$. У даному випадку бульбашки ще зберігають форму кулі, але виникає вже внутрішня циркуляція газу. Швидкість підйому при цьому перевищує розрахункову за законом Стокса.

3. Діаметр бульбашок $1,4 \text{ мм} < d_b < 6,0 \text{ мм}$ за чисел Рейнольдса $490 < Re < 4500$. Форма бульбашок вже відрізняється від форми кулі. Вони піднімаються за коливальною траєкторією (рух по спіралі).

4. Діаметр бульбашок $d_b > 6 \text{ мм}$ за $Re > 4500$. Бульбашки мають форму стисненого еліпсоїда обертання, коротка вісь якого орієнтована в напрямку руху. Для цієї зони коефіцієнт опору залишається практично постійним: $C_{оп} = 2,5$.

9. РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ НЕКРУГЛОГО ПЕРЕРІЗУ

Робоча програма

Особливості руху рідини в каналах некруглого поперечного перерізу. Поняття гідравлічного радіуса і еквівалентного діаметра каналу. Основні розрахункові залежності.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з гідравлічним розрахунком каналів некруглого поперечного перерізу. Вміти перераховувати параметри каналів різної форми.

Для транспорту рідин і газів в окремих випадках застосовуються канали некруглого поперечного перерізу (наприклад, у системах вентиляції, нагрівальних чи охолоджувальних приладах систем гарячого водопостачання і тепlopостачання).

Втрати напору на гідравлічне тертя в каналах некруглого поперечного перерізу рекомендується розраховувати за відомою формулою Дарсі – Вейсбаха, в яку замість діаметра труби входить еквівалентний діаметр каналу d_e :

$$h_{тер} = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{V^2}{2g} = \lambda \frac{l}{4R} \frac{V^2}{2g}, \quad (9.1)$$

де $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d_e^2 / 4}{\pi d_e} = \frac{d_e}{4}$ – гідравлічний радіус; $d_e = 4R = d$ – для каналів

круглого поперечного перерізу; $d_e = 4R = 4 \frac{a^2}{4a} = a$ – для квадратного

перерізу; $d_e = 4R = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$ – для прямокутного;

$d_e = 4R = 4 \frac{b^2 \sqrt{3}}{4 \cdot 3b} = \frac{b}{\sqrt{3}}$ – для трикутного (b – сторона рівностороннього трикутника).

При цьому гідравлічний коефіцієнт тертя дозволяється розраховувати за формулами як для круглих труб (наприклад формула А.Д. Альтшуля).

10. ПЛІВКОВИЙ РУХ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Залежність товщини плівки рідини від числа Рейнольдса.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з областю застосування плівкового режиму руху рідини в очисних спорудах систем водопостачання та водовідведення. Оцінити режими руху рідини в таких спорудах.

Означений рух має місце при стіканні рідини по різного роду плоских поверхнях. Як приклад, можна розглядати рух рідини, що очищається, в біофільтрах із завантаженням у вигляді вертикальних полотен. Режим руху стікаючої плівки цілком визначається числом Рейнольдса

$$\text{Re}_{nl} = \frac{V_{nl} \cdot \delta}{\nu} = \frac{q_p}{\nu} = \frac{G_p}{\mu}, \quad (10.1)$$

де $V_{nl} = \frac{q_p}{\nu}$ – середня швидкість течії рідини в плівці, м/с; δ – товщина плівки, м; q_p , G_p – відповідно, об'ємна і масова витрати рідини, віднесені до 1 м ширини плівки, л/(с·м) і кг/(с·м).

За значеннями $Re < 30$ у вільно стікаючій плівці відбувається ламінарний режим руху. При цьому товщину плівки визначають за залежністю

$$\delta = 1,443 \sqrt{\frac{Re_{пл} \cdot v^2}{g}}. \quad (10.2)$$

За значеннями $30 \leq Re_{пл} \leq 400$ у плівці зберігається ламінарний режим руху, але поверхня плівки буде покрита регулярними тривимірними хвилями. Середня товщина плівки при ламінарно-хвильовому русі розраховується за формулою

$$\delta = 1,343 \sqrt{\frac{Re_{пл} \cdot v^2}{g}}. \quad (10.3)$$

За $Re_{пл} > 400$ у плівці відбувається турбулентний режим руху з існуванням на поверхні нерегулярних хвиль. Середню товщину плівки в цьому випадку рекомендується знаходити за залежністю

$$\delta = 0,308 Re^{\frac{7}{12}} \sqrt[3]{\frac{v^2}{g}}. \quad (10.4)$$

11. НЕУСТАЛЕНИЙ РУХ РІДИНИ

Робоча програма

Рівняння неусталеного руху для елементарної струминки і потоку рідини. Види неусталеного руху. Основні характеристики: тіло хвилі, фронт хвилі. Диференційні рівняння неусталеного плавнозмінного руху у відкритих руслах і методи їх розв'язання.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з видами неусталеного руху, основними термінами і характеристиками. Розглянути рівняння неусталеного руху для елементарної струминки і потоку рідини в напірному трубопроводі.

Визначити відмінності в гідравлічному розрахунку трубопроводів, що працюють в усталеному і неусталеному режимах. Ознайомитись з основними характеристиками неусталеного руху рідини у відкритих руслах. З'ясувати особливості рівнянь Сен-Венана, що складаються з рівняння нерозривності і рівняння динамічної рівноваги, а також методами їх вирішення на ЕОМ.

12. ПЛАНОВА ЗАДАЧА ГІДРАВЛІКИ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Диференційні рівняння планової задачі – рівняння балансу витрат і динамічної рівноваги. Окремі приклади планової задачі гідравліки: розтікання потоку при різкому розширенні русла; гідравлічний стрибок у руслі, що розширюється; поділ потоків; гідравліка водоприймальних ковшів.

Методичні вказівки

Слід ознайомитися з системою основних диференційних рівнянь, які описують рух планових потоків і методами їх розв'язання для різних випадків. Для випадку раптового розширення русла вміти розраховувати параметри потоку, зокрема спряжені глибини просторового гідравлічного стрибка.

Вміти визначати швидкості, глибини і питомі витрати води в області розтікання, які розраховуються за універсальним графіком І.А. Шеренкова.

При раптовому розширенні відкритого потоку виникають відривні течії з коловоротом (рис. 12.1).

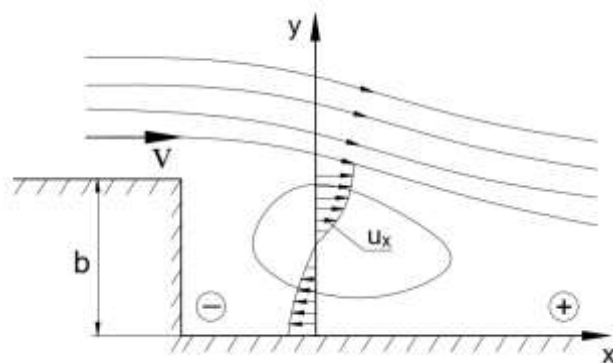


Рис. 12.1

Довжина за течією ділянки з коловоротом (зони гідродинамічної тіні) визначається за емпіричною формулою Г.А. Ліліцького:

$$l_{n.p} = (0,15Fr_1 + 0,27)(B - b). \quad (12.1)$$

Розподіл епюри швидкостей вздовж осі y , проведеної через центр коловороту

$$u_x = V \left[\frac{3}{2} \left(\frac{y}{b} \right)^2 - \frac{1}{2} \right], \quad (12.2)$$

де V – середня швидкість руху води на виході з каналу до його розширення; y – відстань, яка відраховується від стінки каналу.

Швидкість біля стінки буде

$$u_{x(y=0)} = -\frac{1}{2}V. \quad (12.3)$$

Координати центра коловороту:

$$x_{0(u_y=0)} \approx \frac{2}{3}l_{n.p}; \quad y_{0(u_x=0)} \approx \sqrt{\frac{1}{3}}b \approx 0,58b. \quad (12.4)$$

Необхідно ознайомитися з правилами проектування і гідравлічного розрахунку водозабірних ковшів (рис. 12.2).

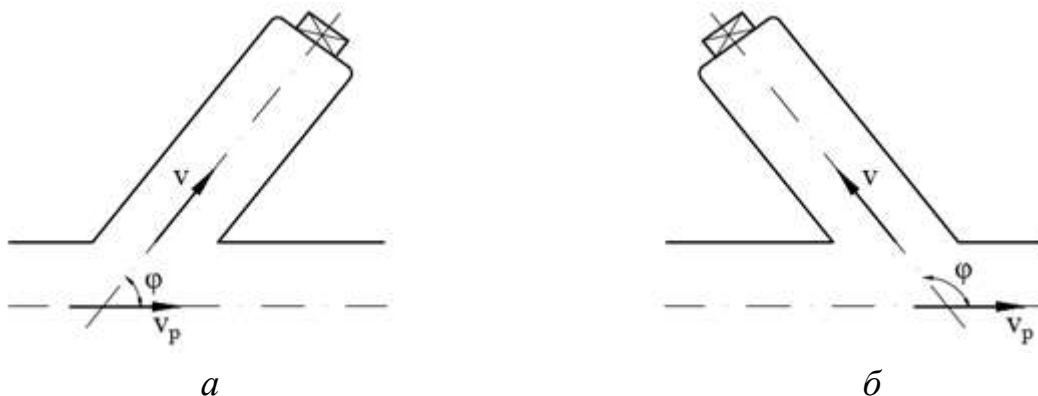


Рис. 12.2

Водозабірні ковші можуть мати верховий (рис. 12.2 *а*) або низовий (рис. 12.2 *б*) вхід за течією ріки. Розрізняють два основних режими відбору – поділу і водообміну. Режим поділу спостерігається при відборі відносно великої кількості води. Режим водообміну виникає при відборі з річки відносно невеликої кількості води (відносно витрати води в річці).

Витрата водообміну між ковшом і річковим потоком в основному залежить від кута відводу φ , і її приблизно можна визначити за формулою

$$Q_{об} = f(\varphi^0) H B V_p, \quad (12.5)$$

де $f(\varphi^0)$ – параметр, який беруть за табл. 12.1; B і H – відповідно, ширина і глибина води на вході.

Таблиця 12.1

φ^0	45	60	90	≥ 135
$f(\varphi^0)$	0,061	0,049	0,034	0,026

Загальна довжина ковша

$$L = l_B + l_{III} + l_T, \quad (12.6)$$

де l_B – довжина вхідної частини ковша, яка охоплена неробочими циркуляціями, її беруть такою, що дорівнює ширині ковша ($l_B = B$); $l_{III} = 10 \dots 20$ м – довжина ковша, яка зайнята відкладенням шуги; l_T – довжина ковша, яку визначають за умови забезпечення спливання в ньому кришталіків льоду та шуги.

$$l_T = 29 \left(\sqrt{\varepsilon_n^2 + 0,105 Q / u_{ш}} - \varepsilon_n \right), \quad (12.7)$$

де $\varepsilon_n = \frac{Q}{H V_\phi}$ – початкова ширина транзитної частини струмини в ковші; Q

– витрата, яка відбирається водозабором; $u_{ш}$ – швидкість спливання шуги, яка дорівнює 0,016...0,02 м/с; H – глибина ковша; V_ϕ – фактична швидкість входу води у ковш, яку беруть рівною $0,5 V_p$ для режиму водообміну і $0,9 V_p$ – для режиму поділу (тут V_p – середня швидкість руху води в річці).

13. СТРАТИФІКОВАНІ ТЕЧІЇ

Робоча програма

Види стратифікацій потоків. Основні залежності і критерії подібності, які застосовують під час описання стратифікованих течій. Умови устійності течій. Двошарові течії різногустинних потоків. Селективний водозабір.

Методичні вказівки

Належить ознайомитися з основними поняттями і термінами, мати уявлення про критерії подібності, розглянути вплив різних факторів на устійність стратифікованих течій. Необхідно ознайомитися з правилами і умовами проектування селективних водозаборів.

У процесі розрахунку селективного водозабору з нижнього шару води (рис. 13.1) за даними М. Кулеша, глибину розташування верхнього положення поверхні розділу шарів води різної густини рекомендується проводити за формулою

$$h_0 = 1,7 \sqrt{\frac{\rho_1 \alpha q_{\text{вх}}^2}{g \Delta \rho}}, \quad (13.1)$$

де $q_{\text{вх}}$ – витрата води, яка надійшла на 1 м погонної довжини приймального вікна.

Коли товщина h_0 відома за даними натурних або модельних спостережень, тоді із залежності (13.1) знаходять розмір (площу перерізу) водоприймального вікна, який би забезпечував задану витрату $q_{\text{вх}}$, або за відомих розмірів визначають витрату.

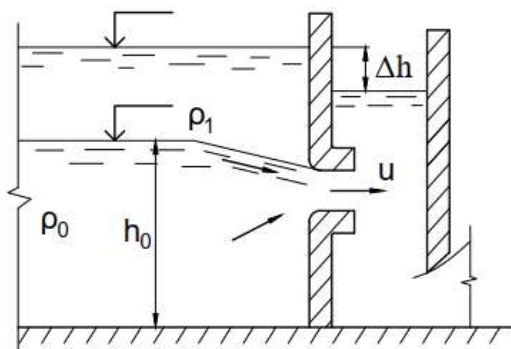


Рис 13.1

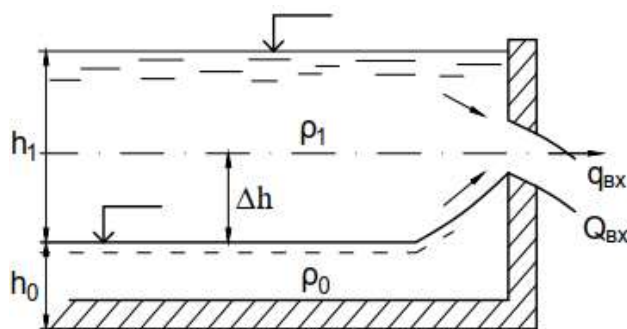


Рис 13.2

У разі потреби забирати воду з верхнього шару (рис. 13.2) визначають нижнє критичне положення поверхні розділу за формулою

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_1} g \frac{\Delta h^3}{q_{\text{вх}}^2} = 0,438. \quad (13.2)$$

Якщо положення поверхні розділу у стратифікованій водоймі відоме, то за наведеними вище залежностями розраховують критичні швидкості $V_{\text{кр}}$ або $Q_{\text{вх}}$ чи $q_{\text{вх}}$, потім визначають розміри водозабірних вікон, які забезпечують селективний водозбір.

14. ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИРІВНЮВАННЯ ЕПЮРИ ШВИДКОСТЕЙ В ПОТОЦІ РІДИНИ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Методи оцінки ступеня рівномірності розподілення швидкостей в перерізі потоку. Визначення параметрів решіток, що забезпечують задану ступінь рівномірності епюри швидкостей, для очисних апаратів різних типів.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з основними методами оцінки ступеня рівномірності розподілу швидкостей після очисних апаратів. Навчитись розраховувати оптимальні значення коефіцієнтів опору решіток, сіток і шарів насипних матеріалів.

Для вирівнювання профілю швидкостей руху води по площі поперечного перерізу очисної споруди використовують решітки, сітки і шари насипних матеріалів.

Решітками називають опори розосереджені по перерізу каналу. За відношення глибини отвору до його діаметру $l_{\text{отв}} / d_{\text{отв}} \geq 1-2$ або товщини стержня до ширини щілини $l_{\text{отв}} / b_{\text{щіл}} = 1-1,5$ решітки відносять до товстостінних, за менших співвідношень – до тонкостінних або плоских. Просторові решітки у вигляді пучків труб, стержнів і стаціонарні насипні шари називають об'ємними решітками.

За результатами дослідів встановлено, що заданому ступеню рівномірності розподілу швидкостей в перерізі потоку, відповідає конкретне значення коефіцієнта опору решітки, яке визначається за формулою

$$\zeta_p = \frac{\Delta p}{\rho V^2 / 2} = \frac{\Delta h}{V^2 / 2g}, \quad (14.1)$$

де Δp і Δh – втрати, відповідно, тиску і напору при проходженні рідини через решітку; V – швидкість рідини перед решіткою.

Оптимальне значення коефіцієнта опору решітки (за якого нерівномірність потоку буде мінімальна) дорівнює $\zeta_p = \zeta_{кр} = \zeta_{опт} = 2$ (більш точним є значення $\zeta_p = 2,76$).

У разі, коли характер епюри швидкостей потоку перед плоскою решіткою невідомий, то коефіцієнт опору такої решітки можна визначати за приблизною формулою

$$\zeta_p = \left[0,707(1 - \bar{f})^{0,375} + 1 - \bar{f} \right]^2 \frac{1}{\bar{f}^2}, \quad (14.2)$$

де $\bar{f} = \sum f_{отв} / F_p$ – відносна площа перфорації (відношення площі отворів до площі решітки, зазвичай беруть $\bar{f} = 0,2 - 0,4$). При цьому кількість отворів у решітці буде становити

$$n_{отв} = 1,27 \bar{f} F_p / d_{отв}^2. \quad (14.3)$$

Якщо для вирівнювання потоку в каналі встановлено декілька плоских тонкостінних решіток з однаковими коефіцієнтами опору, то для визначення їх оптимальної кількості рекомендується приблизна емпірична формула:

$$n_{опт} \approx 0,7 \sqrt{(F_k / F_0) \sqrt{\alpha}}, \quad (14.4)$$

де F_k і F_0 – відповідно, площі перерізу каналу і струмینی (отвору); α – коефіцієнт Коріоліса в перерізі перед решіткою.

Отримане за формулою (14.4) значення $n_{опт}$ округлюється до найближчого цілого числа.

Для вирівнювання потоку при центральному (знизу вгору) вході в апарат (рис. 14.1) оптимальне значення коефіцієнта опору рекомендується розраховувати за приблизною залежністю

$$\zeta_{опт} \approx [0,0037 / (H_d / D_0)] (F_k / F_0)^3. \quad (14.5)$$

Формула (14.5) дійсна за $F_k / F_0 \leq 50$ і $0,8 < H_d / D_0 < 5$.

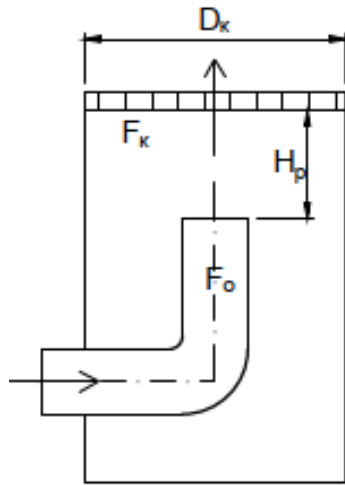


Рис. 14.1

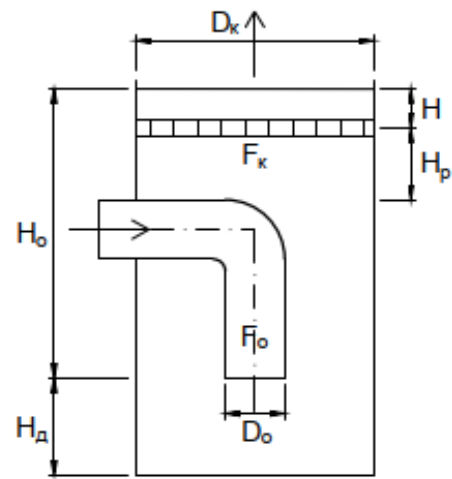


Рис. 14.2

У разі центрального вході (зверху вниз) в апарат (рис. 14.2) коефіцієнт опору розраховується за залежністю

$$\zeta_p \approx 0,06 \left[\left(F_k / F_o \right)^2 - 1 \right], \quad (14.6)$$

при цьому співвідношення знаходиться в межах $H_p / D_k = 0,2 - 0,25$.

У разі центрального входу (згори вниз) – кількість решіток можна на одну зменшити порівняно з випадком входу знизу вгору. Коефіцієнт кінетичної енергії в перерізі перед решіткою можна брати $\alpha \approx 1,5$.

У разі бічного входу в апарат (рис. 14.3) коефіцієнт опору визначають за формулою

$$\zeta_{\text{опт}} \approx 0,5 \alpha^{3/4} \left[\left(F_k / F_o \right)^{3/2} - 1 \right], \quad (14.7)$$

при цьому $H_p / D_o \approx 0,7 - 0,11$.

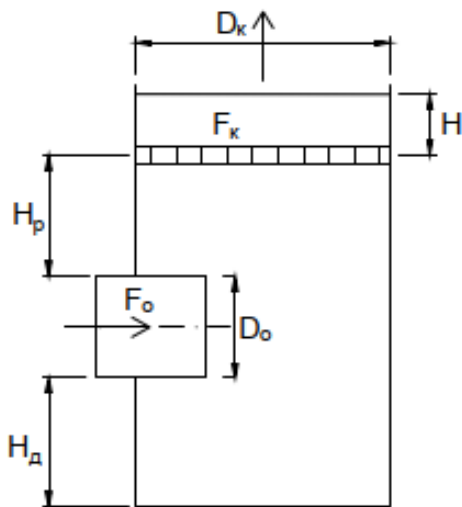


Рис. 14.3

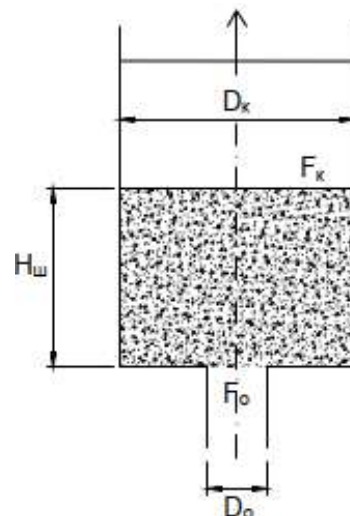


Рис. 14.4

При застосуванні для вирівнювання потоку насипного матеріалу (рис. 14.4) коефіцієнт опору насипного шару розраховують за приблизною залежністю

$$\zeta_{\text{ш.опт}} \approx 33,3(\alpha F_{\kappa}/F_0)^{0,6}, \quad (14.8)$$

яка справедлива в межах $10 < \alpha F_{\kappa}/F_0 < 200$.

При цьому мінімальна відносна висота шару насипного матеріалу, яка буде забезпечувати повне вирівнювання епюри швидкостей становить

$$\bar{H}_{\text{ш.е}} = H_{\text{ш}}/d_e \approx 50(1 - \sqrt{F_{\kappa}/F_0}), \quad (14.9)$$

де d_e – еквівалентний діаметр частинок насипного матеріалу.

Розрахунок сіток

Сітки знаходять широке застосування у водопостачанні для очистки води від твердих включень у річковій і морській воді, у водовідведенні – для додаткового очищення стічних вод тощо.

Втрати напору в сітках визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_c = \zeta_c \frac{V^2}{2g} = \zeta_c \frac{Q^2}{2gm^2\omega^2}, \quad (14.10)$$

де ω – площа ланок сітки; V – середня швидкість руху води в ланках сітки ($V = V_1/m$); V_1 – середня швидкість потоку на підході до сітки; $m = a^2/t^2$ – коефіцієнт скважності сітки (коефіцієнт «живого» перерізу сітки); a – розмір сторони ланки; t – крок сітки.

Для розрахунку коефіцієнта опору сіток можна використовувати формулу

$$\zeta_c = \frac{92 - 78m}{\text{Re}_a} + 0,7(1,05 - m), \quad (14.11)$$

де $\text{Re}_a = Va/\nu$ – число Рейнольдса.

15. ГІДРАВЛІЧНІ СТРУМИНИ

Робоча програма

Основні поняття і визначення. Характеристика затоплених і незатоплених, вільних і стиснених струмин.

Методичні вказівки

Необхідно ознайомитись з зоною застосування затоплених і незатоплених струмин при їх практичному використанні. Навчитись розраховувати параметри і характеристики струмин у протипожежній практиці.

Струминою називається потік рідини, який рухається в такій самій чи іншій рідині в обмеженому або необмеженому просторі. Якщо струмина в просторі не обмежена твердими стінками, то вона називається **вільною**. У разі, коли рух потоку рідини здійснюється в обмеженому просторі, струмина називається **стисненою**. **Затопленою** вважається струмина, яка розповсюджується в середовищі, яке має ті ж самі властивості і характеристики, що і потік струмини (наприклад, струмина води у воді або струмина повітря в повітрі). **Незатопленою** називається струмина у разі руху струмини рідини в газовому середовищі (струмина води у повітрі). У загальному випадку в струминах можливий ламінарний і турбулентний режим руху. На практиці значно частіше зустрічається турбулентний режим.

Струмини такого типу широко використовуються у практиці пожежогасіння (пожежні струмини), у гідромеханізації для розмиву ґрунту (гідромоніторні струмини), для зрошення полів (струмини дощувальних апаратів).

Основні параметри незатопленої струмини наведені на рис. 15.1 і визначаються за відповідними формулами.

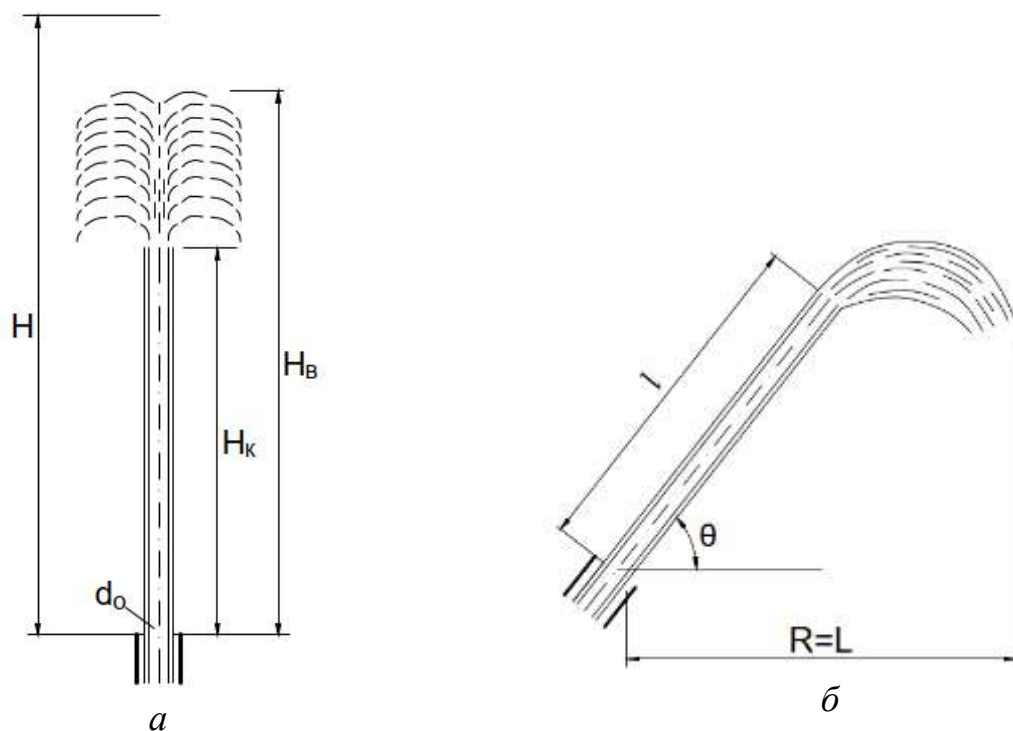


Рис. 15.1

Висота компактної частини струмینی знаходиться за залежністю

$$H_k = f H_b, \quad (15.1)$$

де f – дослідний коефіцієнт, який визначається залежно від H_b , за табл. 15.1

Таблиця 15.1

H_b , м	7	10	15	20	25	30
f	0,84	0,83	0,81	0,76	0,67	0,54

H_b – висота суцільної частини струмینی (за напору H від 7 до 70 м), яка розраховується за залежністю

$$H_b = H(1 - 0,000113H/d), \quad (15.2)$$

де d – діаметр вихідного перерізу насадка, м.

Радіус дії роздробленої частини струмینی визначається за рівнянням

$$R = L = \beta H_b, \quad (15.3)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від кута нахилу радіусу дії струмینی до горизонту θ і обирається за табл. 15.2

Таблиця 15.2

θ	0	15	30	45	60	75	90
β	1,4	1,3	1,2	1,12	1,07	1,03	1,0

Встановлено, що найбільша дальнбійність струмни досягається за початкового кута нахилу сопла пожежного ствола (не радіуса дії струмни) до горизонту приблизно $30 - 32^\circ$.

Граничну величину напору для різних діаметрів пожежних насадків, при якому струмина досягає максимальної висоти можна знаходити за залежністю

$$H = d/0,000226, \quad (15.4)$$

де H і d підставляються в метрах.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЗАОЧНИКІВ

Вивчивши теоретичну частину курсу, студент повинен виконати контрольну роботу, яка складається з задач. потрібну кількість задач визначає викладач. Використані формули повинні супроводжуватись необхідними поясненнями. Контрольну роботу треба здати не пізніше, як за 10 днів до початку екзаменаційної сесії. Варіанти контрольних робіт обирають за останньою цифрою номера залікової книжки студента.

Завдання до контрольної роботи (РГВ)

Задача № 1. Визначити величину і побудувати графік зміни витрати вздовж збірного перфорованого трубопроводу довжиною l , діаметром D , прокладеного на глибині H_p при витіканні під рівень ($H_{\text{кін}} = 0$) або в атмосферу ($H_{\text{кін}} = 0$). Трубопровід рівномірно перфорований n отворами діаметром d . Гідравлічний коефіцієнт тертя λ_{36} , коефіцієнт витрати отворів перфорації μ_{36} .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
D , м	0,05	0,07	0,10	0,125	0,15	0,05	0,07	0,10	0,125	0,15
H_p , м	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$H_{\text{кін}}$, м	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0	0,2	0,3	0,4	0,5
n , шт	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
d , м	0,006	0,005	0,004	0,005	0,006	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005
λ_{36}	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039
μ_{36}	0,6	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69

Задача № 2. Побудувати п'єзометричну лінію для трубопроводу з характеристиками, вказаними в задачі № 1.

Задача № 3. За умовою задачі № 1 визначити показник рівномірності збору рідини τ вздовж збірного трубопроводу.

Вказівка: після визначення коефіцієнта k функцію $f(M)$ слід знаходити із залежності $f(M) = \frac{k^2 - 2}{\zeta_l}$, показник τ – з табл.1.1 інтерполяцією.

Задача № 4. Обчислити діаметр водозбірного трубопроводу для відводу води з освітлювача коридорного типу, а також загальні кількість отворів перфорації за умови, що швидкість у вихідному перерізі труби не перевищує $V_{\max} = 1,0$ м/с. Дані для розрахунку наведені в таблиці.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
$l, \text{ м}$	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
$H_p, \text{ м}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$H_{\text{кін}}, \text{ м}$	0	0,1	0,2	0,3	0	0,1	0,2	0,3	0	0,2
$d, \text{ мм}$	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	0,3	0,4	5,0	6,0
τ	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
$\lambda_{\text{зб}}$	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,035	0,036	0,037	0,38	0,039
$\mu_{\text{зб}}$	0,65	0,66	0,68	0,69	0,7	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69

Задача № 5. Для збірного трубопроводу, що характеризується умовами задачі № 4, але з середньою швидкістю у вихідному перерізі $V_{\max} \leq 0,9$ м/с, побудувати п'єзометричну лінію.

Задача № 6. За заданих конструктивних характеристик збірного трубопроводу: скважність $\tilde{f}$; перепад напорів у кінці збірника z_k ; гідравлічний коефіцієнт тертя $\lambda_{\text{зб}}$; коефіцієнт витрати $\mu_{\text{зб}}$; діаметр збірника D ; довжина l ; $H_p = 2,0$ м, визначити витрату в кінцевому перерізі труби і показник рівномірності збору води.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{f}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
z_k , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
λ_{36}	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035
μ_{36}	0,063	0,064	0,065	0,066	0,067	0,063	0,064	0,065	0,066	0,067
D , мм	50	70	100	125	150	50	70	100	125	150
l , м	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

Задача № 7. Розрахувати діаметр сталевого перфорованого трубопроводу D , яким можна забезпечити відвід витрати Q_k з резервуару, довжиною L . Глибина занурення труби під поверхнею води в резервуарі H_p , гідравлічний коефіцієнт тертя λ_{36} , коефіцієнт витрати μ_{36} , перепад напорів в кінці збірника становить z_k . Показник рівномірності збору води, який повинен забезпечуватися при роботі τ . Допустима швидкість в кінцевому перерізі повинна становити $V \geq 1,2$ м/с. Визначити скважність трубопроводу і втрати напору в ньому.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_k , м ³ /с	0,003	0,005	0,008	0,01	0,012	0,003	0,005	0,008	0,01	0,012
λ_{36}	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034
L , м	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	17,0	15,0	13,0	11,0
H_p , м	1,2	1,4	1,6	1,1	1,3	1,5	1,2	1,3	1,4	1,5
μ_{36}	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
z_k , м	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0	0,1	0,2	0,3	0,4
τ	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9

Задача № 8. Визначити час повного випорожнення відстійника завширшки B , завдовжки L через прокладений на його дні перфорований трубопровід діаметром D , довжиною l , який має n отворів перфорації, діаметром d , за початкової глибини води H_p . Гідравлічний коефіцієнт тертя λ_n , коефіцієнт витрати отворів перфорації μ_{36} .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B , м	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0
L , м	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

D , мм	50	70	100	150	200	50	70	100	150	200
l , м	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
H_p , м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,6	1,7	1,8	1,9
$H_{кін}$, м	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0	0,1	0,2	0,3
d , мм	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
n , шт	150	200	250	300	400	200	150	200	250	300
$\lambda_{зб}$	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039
$\mu_{зб}$	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,7	0,65	0,66	0,67	0,68

Задача № 9. Визначити кінцеву витрату, а також побудувати п'єзометричну лінію для дренажного трубопроводу з характеристиками:

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , мм	50	70	100	125	150	50	70	100	125	150
H_p , м	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$H_{кін}$, м	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0	0,1	0,2	0,3	0,4
l , м	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
$\lambda_{зб}$	0,04	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049
K_ϕ , м/доб	3,0	5,0	10,0	15,0	20,0	3,0	5,0	10,0	15,0	20,0

Задача № 10. Визначити витрату, яку можна розподілити через перфорований трубопровід (витрату в початковому перерізі Q_n) з характеристиками: $\bar{f}$; l ; n ; D ; $\lambda_p = 0,03$; μ_p ; напір у початковому перерізі h_n . Також знайти показник рівномірності розподілу води τ в розглядуваному випадку.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{f}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
l , м	10,0	12,0	15,0	18,0	20,0	22,0	18,0	16,0	14,0	12,0
D , мм	50	70	100	125	150	125	100	70	50	150
λ_p	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,03	0,035	0,034	0,033	0,031
μ_p	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,061	0,061	0,062	0,063
h_n , м	15	20	25	30	15	20	25	30	20	30
n	50	60	70	80	100	80	70	60	50	100

Задача № 11. Визначити конструктивні характеристики розподільного трубопроводу (діаметр D , скважність $\bar{f}$, кількість отворів перфорації n і їх діаметр d) завдовжки l , який зможе розподілити витрату Q_n . При цьому необхідно забезпечити показник рівномірності розподілу τ . Допустима швидкість у початковому перерізі повинна забезпечуватись у межах $V_0 \geq 4,0$ м/с, за початкового напору h_n .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30
Q_n , м ³ /с	0,01	0,015	0,02	0,012	0,018	0,022	0,01	0,015	0,017	0,02
τ	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
h_n , м	20	25	30	22	27	29	21	23	26	28
λ_p	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,03	0,035	0,034	0,033	0,031
μ_p	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,061	0,061	0,062	0,063

Задача № 12. Побудувати п'єзометричну лінію вздовж дірчастого розподільника, а також визначити початкову швидкість у трубі V_n , швидкість витікання з першого отвору V_{no} і показник рівномірності τ роздачі за даними, наведеними у таблиці.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /с	0,01	0,012	0,015	0,018	0,02	0,022	0,025	0,028	0,03	0,032
D , мм	100	100	125	125	150	150	200	200	250	250
l , м	5	10	15	20	5	10	15	20	12	16
d , мм	10	12	15	11	13	10	12	15	13	11
λ_p	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,04	0,042	0,044	0,046	0,048
μ_p	0,62	0,64	0,66	0,68	0,61	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69
h_n , м	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

Задача № 13. Визначити час наповнення порожнього резервуару чистої води завдовжки L , завширшки B , завглибшки H через прокладений на його дні перфорований трубопровід завдовжки l , діаметром D , який має n отворів діаметром d за напору води в ньому h_n . Гідравлічний коефіцієнт тертя λ_p , коефіцієнт витрати отворів перфорації μ_p .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B , м	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
L , м	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	8,0
H , м	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
l , м	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	8,0

D , мм	50	70	100	150	200	50	70	100	150	200
d , мм	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
n , шт.	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
h_{Π} , м	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0
λ_p	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039
μ_p	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66

Задача № 14. Визначити втрати напору в чистому фільтрі при таких даних: еквівалентний діаметр зерен фільтруючого завантаження d_e , товщина фільтраційного завантаження L , швидкість фільтрування V , пористість чистого фільтраційного завантаження n_0 , коефіцієнт форми фільтруючого матеріалу γ , температура води t °C.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_e , мм	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
L , м	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
V , м/год	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
n_0	0,3	0,32	0,35	0,37	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3
J	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5
t , °C	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10

Задача № 15. Визначити характер зміни концентрації забруднень після фільтрування на фільтрі з характеристиками, наведеними в задачі № 14 за початкової концентрації забруднень C_n , коефіцієнт швидкості прилипання α , коефіцієнт швидкості відриву β , час роботи фільтра T .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_n , мг/л	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
α , м ⁻¹	25	30	35	40	45	25	30	35	40	45
β , с ⁻¹	0,13	0,15	0,20	0,22	0,25	0,15	0,18	0,20	0,25	0,13
T , год	10	9	8	7	6	9	8	7	6	10

Задача № 16. За умовами задачі № 15 визначити змінну з часом концентрацію затриманого осаду за висотою фільтра (S) і її величину в початковому перерізі (S_n).

Задача № 17. За умовами задачі № 15 визначити приріст втрат напору у фільтрі за розрахунковий період T .

Задача № 18. За умовами задачі № 14, за початкової C_n і кінцевої концентрацій забруднень C_k , визначити граничний час захисної дії фільтра (тривалість фільтроцикла) T за коефіцієнта швидкості прилипання α , коефіцієнта швидкості відриву β .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_n , мг/л	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
C_k , мг/л	5	8	6	5	8	10	8	6	8	10
α , м ⁻¹	25	30	35	40	45	25	30	35	40	45
β , с ⁻¹	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25

Задача № 19. Визначити гідравлічну крупність частинок за таких даних: середній діаметр частинок d , щільність матеріалу частинок ρ_c , густина води $\rho_e = 1000$ кг/м³, температура води t .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	2,0	1,0	1,5	0,5	0,3	1,2	0,6	0,8	0,05	0,1
ρ_c , кг/м ³	1500	1200	1100	1400	1300	1600	1200	1100	1300	1500
t , °C	5	10	15	20	5	10	15	20	10	15

Задача № 20. Розрахувати максимальний діаметр (розмір) частинок густиною ρ_c , осідання яких у воді ($\rho_e = 1000$ кг/м³), буде відбуватись в ламінарному режимі. Температура води t .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ_c , кг/м ³	1100	1200	1300	1400	1500	1100	1200	1300	1400	1500
t , °C	5	10	15	20	5	10	15	20	10	15

Задача № 21. Визначити швидкість стисненого осідання, якщо об'ємна концентрація зависі у завислому шарі C^1 , інші розрахункові величини взяти із задачі № 19.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C^1	0,1	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,3	0,32

Задача № 22. Визначити глибину і швидкість над перепадом у круглій трубі діаметром D системи водовідведення при пропуску витрати Q і нормальному наповненні Δ_0 .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, \text{ м}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Δ_0	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,8	1,9	1,8

Вказівка. Слід розрахувати значення P_Q , A_k , порівняти Δ_k з Δ_0 , встановити наповнення в перерізі 1-1. Далі обчислення проводити за формулами (4.3) і (4.4).

Задача № 23. Побудувати залежність $Q = f(h_n)$ для перепаду в круглій водовідвідній трубі діаметром D за спокійного стану потоку в трубі і максимальної витрати $Q_{\max}$.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, \text{ м}$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$Q_{\max}, \text{ м}^3/\text{с}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0

Вказівка. Слід задатися 5-6 значеннями витрат $Q < Q_{\max}$, визначити для них P_Q ; $\Delta_i = \Delta_k$; ω_1^1 ; D_{*i} , а потім за формулою (4.3) знайти ω_n^1 і за допомогою таблиць і графіків [1] обчислити Δ_n і h_n .

Задача № 24. Встановити форму сполучення б'єфів після перепаду в круглій трубі системи водовідведення, якщо діаметр труби D , висота перепаду P , витрата Q , нормальне наповнення у верхньому і нижньому б'єфах Δ_0 . За потреби запроектувати водобійний колодязь.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, \text{ м}$	1,2	1,4	0,9	1,5	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	1,2
$P, \text{ м}$	1,9	1,6	0,8	1,5	2,2	2,5	2,8	2,6	2,0	2,5
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	3,0	4,5	0,9	0,5	0,7	0,8	1,0	0,7	0,6	2,2
Δ_0	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5

Задача № 25. Визначити витрату гідросуміші і втрати напору в сталевому пульпопроводі, що працює без намулу за таких даних: довжина трубопроводу l ; діаметр D ; середній розмір частинок матеріалу, що транспортуються d ; щільність пульпи ρ_n ; температура води 20°C ; гідравлічний коефіцієнт тертя λ ; процентний вміст ґрунту за об'ємом у пульпі C_m .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
D , мм	200	250	300	400	500	200	250	300	400	500
d , мм	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
ρ_n , кг/м ³	1050	1100	1150	1200	1050	1100	1150	1200	1050	1100
λ	0,03	0,032	0,033	0,034	0,036	0,037	0,031	0,035	0,034	0,036
C_m	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19

Задача № 26. Визначити діаметр сталевго пульпопроводу і втрати напору в ньому за таких даних: довжина трубопроводу l ; витрата гідросуміші (пульпи) Q ; щільність пульпи ρ_n ; середній розмір частинок матеріалу, що транспортується d ; процентний вміст ґрунту за об'ємом у пульпі C_m ; температура гідросуміші t .

с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	400	500	600	700	800	300	400	500	600	700
Q , м ³ /с	0,2	0,3	0,4	0,25	0,35	0,22	0,32	0,18	0,26	0,21
ρ_n , кг/м ³	1100	1150	1200	1050	1250	1100	1150	1200	1050	1250
d , мм	1,0	1,1	1,2	0,9	0,8	1,0	1,1	1,2	0,9	0,8
C_m	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
t , °С	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25

Задача № 27. Визначити висоту нерухомого шару ґрунту, який випаде на дно труби діаметром D , при швидкості руху гідросуміші на 20 % меншій від критичної швидкості, яка розрахована за умовою задачі № 23.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , мм	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400

Задача № 28. Визначити втрати тиску в мулопроводі за умови перекачування як свіжого, так і сбродженого осаду господарсько-побутових стічних вод залежно від їх вологості і швидкості руху, якщо діаметр труби D , довжина мулопроводу l , витрата Q , вологість осаду P^1 .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , мм	200	250	300	150	200	250	300	150	200	250
l , м	100	120	80	130	90	100	120	80	130	90
Q , м ³ /с	0,2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,25
P^1 , %	99	98	97	96	95	99	98	97	96	95

Задача № 29. Визначити перепад тисків у газопроводі завдовжки l , діаметром D , при витраті Q початковому манометричному тиску P_1 . Термодинамічна температура газу T , гідравлічний коефіцієнт λ .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	5000	4000	3500	3200	4200	2800	1900	2200	4500	5100
D , м	0,2	0,2	0,15	0,15	0,2	0,2	0,15	0,15	0,2	0,2
Q , м ³ /хв	230	250	270	290	300	230	250	270	290	300
T , °К	275	277	279	280	281	282	283	284	285	278
λ	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,03

Задача № 30. Визначити необхідний тиск на початку магістрального сталевих трубопроводу діаметром D для транспортування газу з витратою Q . Довжина трубопроводу L , тиск у кінці магістралі $P_2 = 1,5 \cdot 10^5$ Па, термодинамічна температура в початковому перерізі $T = 275$ °К, гідравлічний коефіцієнт тертя λ .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	2000	2100	2500	3000	3500	3700	4000	4500	5000	5200
D , мм	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,15	0,15	0,2	0,2
Q , м ³ /с	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0
λ	0,033	0,032	0,031	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	0,035	0,034

Задача № 31. По металевому циліндричному вентиляційному каналу діаметром D подається повітря витратою Q . Розрахувати розміри каналу квадратного поперечного перерізу (зі стороною a) для подачі цієї витрати за умови, що втрати тиску в ньому залишаться без змін.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , мм	300	400	500	300	400	500	300	400	500	300
Q , м ³ /с	0,4	0,5	0,6	0,42	0,52	0,62	0,44	0,54	0,64	0,45

Задача № 32. За умовою задачі № 31 розрахувати розміри каналу прямокутного поперечного перерізу (з довжиною меншої сторони b).

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b , мм	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100

Задача № 33. Визначити втрати напору в сталевому трубопроводу діаметром D під час руху газорідинної суміші за наступних даних: витрата води Q ; дійсне об'ємне газозміщення φ ; густина води $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$; густина газу $\rho_r = 1,2 \text{ кг/м}^3$; температура гідросуміші t .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, \text{ м}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,1	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04
φ	0,2	0,22	0,25	0,28	0,3	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27
$t, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25

Задача № 34. Побудувати графік залежності швидкості підйому одиночної газової бульбашки в рідині (V_0) за зміни діаметра бульбашки від d_1 до d_2 . Густина рідини $\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$; густина газу $\rho_g = 1,0 \text{ кг/м}^3$.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_1, \text{ мм}$	1,0	0,5	0,4	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4	0,6	0,8
$d_2, \text{ мм}$	12,0	10,0	11,0	10,0	11,0	12,0	10,0	11,0	10,0	11,0

Задача № 35. Побудувати графік залежності товщини рідинної плівки δ , що стікає по вертикальній плоскій поверхні, від об'ємної витрати на один погонний метр довжини поверхні q .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q, \text{ л/(с}\cdot\text{м)}$	0,0001 - 0,1	0,0002 - 0,2	0,0003 - 0,3	0,0004 - 0,4	0,0005 - 0,5	0,001 - 0,1	0,002 - 0,2	0,003 - 0,3	0,004 - 0,4	0,005 - 0,5

Задача № 36. Побудувати планове розподілення швидкостей в центрі відривної течії, що утворюється при раптовому розширенні відкритого русла. Швидкість основного потоку V , ширина зони відриву b .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м/с}$	0,6	1,2	0,7	1,0	0,6	1,2	0,8	1,0	0,6	1,1
$b, \text{ м}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Задача № 37. Розрахувати довжину водозабірної ковша, який працює в режимі водообміну, при таких даних: ширина ковша B ; глибина

H ; витрата, яка відбирається водозабором Q ; середня швидкість руху води в річці V_p ; швидкість спливання шуги $u_{ш}$; кута відводу води в ковш φ .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B , м	6,0	7,0	8,0	9,0	6,0	7,0	8,0	9,0	6,0	7,0
H , м	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0
Q , м ³ /с	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5
V , м/с	1,2	1,1	1,0	0,9	1,2	1,1	1,0	0,9	1,2	1,1
$u_{ш}$, мм/с	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
φ , град	45	60	90	120	150	45	60	90	120	150

Задача № 38. Розрахувати необхідний коефіцієнт опору решітки для вирівнювання швидкостей потоку рідини, що очищається ($\zeta_{\text{опт}}$), при заданому вході труби в апарат за такими даними: діаметр апарату D_k ; діаметр підвідного трубопроводу D_0 ; відстань від решітки до підвідного трубопроводу H_p ; відношення площі решітки (каналу) до площі отворів в ній F_k/F_0 .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_k , м	2,0	3,0	4,0	2,2	2,4	2,8	3,2	3,4	3,6	3,8
D_0 , м	0,05	0,08	0,1	0,05	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,1
H_p , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
F_k/F_0	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18

Вказівка. У варіантах 1 – 4 узяти центральний вхід трубопроводу в апарат (знизу вгору) (рис. 9.1); у варіантах 5–7 – центральний вхід трубопроводу (згори вниз) (рис. 9.2); у варіантах 8–10 – бічний вхід (рис. 9.3).

Задача № 39. Визначити коефіцієнт опору ($\zeta_{\text{опт}}$) і мінімальну висоту насипного матеріалу $H_{ш}$ (рис. 9.4), яка буде забезпечувати повне вирівнювання епюри швидкостей потоку в апараті при таких даних: діаметр апарату D_k ; діаметр підвідного трубопроводу D_0 ; еквівалентний діаметр частинок насипного матеріалу d_e .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_k , м	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
D_0 , м	0,05	0,07	0,08	0,1	0,05	0,07	0,08	0,1	0,125	0,15
d_e , мм	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18

Задача № 40. Для сітки, яка встановлена на водозаборі, розрахувати коефіцієнт опору (ζ_c) і втрати напору в ній (h_c) при наступних даних: площа ланок сітки ω ; середня швидкість руху води в ланках сітки ($V = V_1/m$); середня швидкість потоку на підході до сітки V_1 ; коефіцієнт скважності сітки $m = a^2/t^2$; розмір сторони ланки a ; крок сітки t .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\omega, \text{м}^2$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
$V_1, \text{м/с}$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$a, \text{мм}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$t, \text{мм}$	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5

Задача № 41. Визначити дальність польоту пожежної струмینی R за діаметру насадки d ; напору при виході з насадки H ; кута нахилу струмینی до горизонту в градусах Θ_c .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d, \text{мм}$	13	16	19	22	25	13	16	19	22	25
$\Theta_c, \text{град}$	30	45	60	30	45	60	30	45	60	45

Задача № 42. Розрахувати витрату з нижнього шару води селективним водозабором завдовжки l за таких даних: густина верхнього шару води ρ_1 ; густина нижнього шару води ρ_0 ; товщина нижнього шару h_0 ; висота водоприймального отвору b .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l, \text{м}$	10	8	6	7	5	10	8	6	7	5
$\rho_1, \text{кг/м}^3$	970	980	990	970	980	990	970	980	990	970
$\rho_0, \text{кг/м}^3$	1050	1060	1070	1040	1030	1050	1060	1070	1040	1030
$h_0, \text{м}$	10,0	9,9	8,8	7,7	6,6	10,0	9,9	9,8	8,7	7,6
$b, \text{м}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Задача № 43. Визначити висоту водоприймального отвору b селективного водозабору довжиною l , при заборі води з верхнього шару при наступних даних: густина верхнього шару води ρ_1 ; густина нижнього шару води ρ_0 ; товщина верхнього шару води h_1 ; товщина нижнього шару води h_0 ; необхідна витрата води на один погонний метр водозабірної отвору q_{ex} .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l, \text{ м}$	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
$\rho_1, \text{ кг/м}^3$	990	980	970	960	990	980	970	960	990	980
$\rho_0, \text{ кг/м}^3$	1030	1040	1050	1060	1070	1030	1040	1050	1060	1070
$h_1, \text{ м}$	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,3	4,1	4,5	4,7	4,9
$q_{ex}, \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{с}$	0,8	0,9	0,7	0,6	1,0	0,8	0,9	0,7	0,6	1,0

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Большаков В.А.* Справочник по гидравлике / В.А. Большаков та ін. – Київ: Вища школа, 1984. – 343 с.
2. *Константинов Ю.М.* Спеціальні питання гідравліки систем водопостачання і водовідведення: навч. посібник / Ю.М. Константинов, А.М. Кравчук. – Київ, 1993. – 136 с.
3. *Кравчук А.М.* Масопередача в спорудах систем водопостачання і водовідведення: навч. посібник. – Київ, 2000. – 168 с.

Навчально-методичне видання

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ГІДРАВЛІКИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Методичні вказівки і завдання
до розрахунково-графічних вправ і контрольних робіт
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізації «Водопостачання та водовідведення»

Укладачі: **КРАВЧУК** Андрій Михайлович
КРАВЧУК Олександр Андрійович

Випусковий редактор *В.С. Сасько*.
Комп'ютерне верстання *А.П. Селівестрової*

Підписано до друку 12.10. 2020. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 3,49. Обл.-вид. арк 3,75.
Електронний документ. Вид. № 30/III-20.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Свідцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.