Практична робота №3. Гідравлічний розрахунок коротких трубопроводів

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі: «Гідравлічний розрахунок трубопроводів»

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34 - 47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 30 - 40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10 - 48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22- 34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И. Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 25 - 34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: "Вышейшая школа", 1983 – 288 с. (с. 14 - 23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53 - 64).

1. Теоретична частина

1.1 Задачі розрахунку, класифікація трубопроводів і основні загальні розрахункові залежності

Транспортування рідин за допомогою трубопроводів широко застосовується в інженерній практиці (наприклад водопроводи, нафтопроводи і т. ін.). Підкреслимо, що тут розглядаються круглі напірні трубопроводи, тобто трубопроводи, в яких рідиною заповнений весь поперечний переріз.

Метою гідравлічного розрахунку трубопроводів є знаходження їхніх гідравлічних параметрів – витрати рідини, діаметра трубопроводу, втрат напору та напору, необхідного на початку трубопроводу, щоб подати рідину споживачам.

У відповідності до цього, при гідравлічному розрахунку трубопроводів переважно розв'язуються три задачі.

Знаходження ***втрат напору*** в трубопроводі при відомих діаметрі, матеріалі, шорсткості внутрішньої поверхні, довжині та профілі, при відомій витраті рідини.

Знаходження ***витрати рідини*** при транспортуванні її по трубопроводу з відомими діаметром, матеріалом, шорсткістю, довжиною і профілем з допустимими втратами напору.

Знаходження ***діаметра трубопроводу*** для транспортування по ньому рідини з відомою витратою при заданих втратах напору та інших його характеристиках.

За конструкцією (профілем) та гідравлічними показниками трубопроводи певним чином класифікуються: гідравлічно короткі та довгі трубопроводи; послідовно і паралельно з'єднані трубопроводи; трубопроводи з рівномірною шляховою витратою; розімкнуті (тупикові) та кільцеві трубопроводи.

При гідравлічному розрахунку окремих типів трубопроводів мають місце свої особливості, які розглядаються в цьому посібнику.

Загальним для всіх типів трубопроводів є порядок знаходження діаметра, витрати рідини, втрат напору та необхідного напору на початку трубопроводу.

Діаметр трубопроводу при відомій витраті рідини знаходиться за допомогою рівняння нерозривності потоку $Q = \omega V$, якщо в нього підставити значення площі поперечного перерізу $\omega = \pi d^2 / 4$, то отримаємо:

$$d = 0{,}13\sqrt{\frac{Q_{\text{р}}}{V_{\text{е}}}}, \qquad (1)$$

де $Q_{\text{р}}$ – розрахункова витрата рідини на цій ділянці трубопроводу; $V_{\text{е}}$ – економічно доцільна швидкість руху рідини.

З великими швидкостями руху транспортувати рідини еконо-мічно недоцільно, оскільки будуть великі втрати напору. Наприклад, у водопостачанні $V_{\text{е}}$ = 0,7…1,5 м/с.

Витрата рідини при відомому діаметрі трубопроводу також знаходиться за допомогою рівняння нерозривності потоку:

$$Q = \omega V = \frac{\pi d^2}{4} V_{\text{е}}, \qquad (2)$$

де d – діаметр трубопроводу.

Витрату рідини Q за відомими діаметром трубопроводу d та швидкістю V можна брати за даними табл. 1.

Що стосується втрат напору в трубопроводі, то методика їхнього знаходження наведена в лекції 4.

Необхідний напір на початку трубопроводу $H_{\text{пт}}$, при якому забезпечуватиметься подача рідини споживачам, знаходиться за залежністю

$$H_{\text{п т}} = H_{\text{г}} + h_{\text{в}}, \qquad (3)$$

де $H_{\text{г}}$ – геометрична висота підняття рідини; $h_{\text{в}}$ – втрати напору в трубопроводі.

Згідно з наведеною вище класифікацією трубопроводів, розглянемо порядок гідравлічного розрахунку трубопроводів, які найчастіше зустрічаються в інженерній практиці.

Таблиця 1 - Граничні значення швидкостей $V_{\text{гр}}$ і витрат $Q_{\text{гр}}$ у залежності від діаметра труб

d, мм	$V_{\text{гр}}$, м/с	$Q_{\text{гр}}$, л/с	d, мм	$V_{\text{гр}}$, м/с	$Q_{\text{гр}}$, л/с
50	0,75	1,5	400	1,15	145
75	0,75	3,3	450	1,20	190
100	0,76	6	500	1,25	245
125	0,82	10	600	1,3	365
150	0,85	15	700	1,35	520
200	0,95	30	800	1,4	705
250	1,02	50	900	1,45	920
300	1,05	74	1000	1,53	1200
350	1,10	106	1100	1,55	1475

1.2. Гідравлічно короткі трубопроводи

Це трубопроводи, в яких місцеві втрати напору приблизно однакові з втратами напору по довжині. До них належать усмоктувальні трубопроводи насосних станцій, сифони і т. ін.

Особливістю цих трубопроводів є те, що при їхньому гідравлічному розрахунку окремо вираховуються втрати напору в місцевих опорах і в опорах по довжині. Загальні втрати напору визначаються як сума перших і других. Їх розрахунок ведеться з використанням рівняння Бернуллі.

Отже, втрати напору в місцевих опорах вираховуються за формулою $h_{\text{м}} = \zeta V^2/(2g)$, а в опорах по довжині – за формулою $h_{\text{дов}} = \lambda l V^2/(2gd)$. Загальні втрати напору вираховуються за формулою $h_{\text{в}} = h_{\text{дов}} + h_{\text{м}}$.

Розглянемо приклад гідравлічного розрахунку ***усмоктувальної лінії насосної установки*** (рис. 1).

Метою прикладу, що розглядається, є знаходження висоти установлення насоса над рівнем води в її джерелі, тобто висоти усмоктування.

Скористуємося рівнянням Бернуллі, для чого перший переріз 1-1 призначимо на вільній поверхні води в її джерелі, а другий – 2-2 – перед входом у насос. Площину порівняння 0-0 візьмемо співпадаючою з першим перерізом 1-1, тобто також на рівні вільної поверхні води.

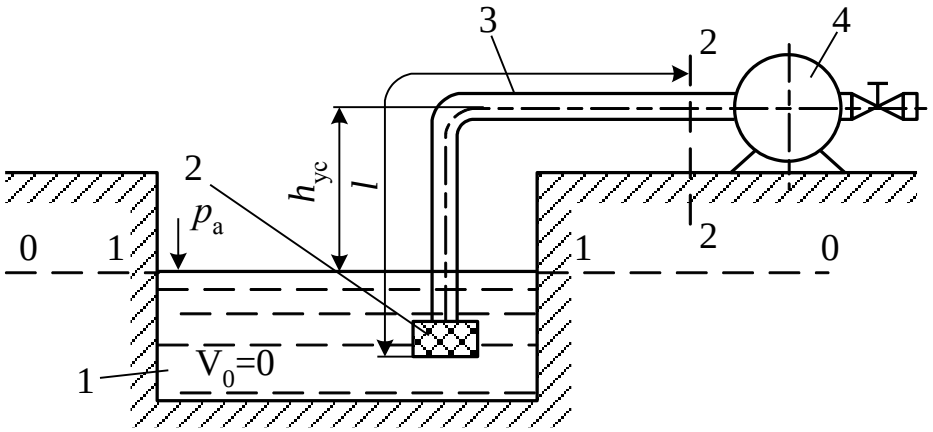

Рис. 1. Схема до гідравлічного розрахунку висоти усмоктування насосної установки:

1 – джерело води; 2 – приймальний пристрій (місцевий опір); 3 – усмок-тувальний трубопровід; 4 – насос

Оскільки перший переріз 1-1 співпадає з площиною порівняння 0-0, то $Z = 0$. Оскільки джерело води відкрите, то на вільній поверхні діє атмосферний тиск $p_а$, тобто $p_1 = p_а$, а оскільки рух води в джерелі у вертикальному напрямку при роботі насосної установки буде несуттєвим, бо поперечний переріз усмоктувального трубопроводу набагато менший від площі вільної поверхні, то $V_1 = 0$. Що стосується другого перерізу, $Z_2 = h_{ус}$, тиск p_2 буде мати місце, $V_2 = Q/\omega = V$. Втрати напору $h_в$ складаються з втрат напору по довжині $h_{дов} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}$ і місцевих $h = \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$. Підставимо в рівняння Бернуллі значення величин з урахуванням вищенаведених умов:

$$\frac{p_а}{\gamma} = h_{ус} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g}.$$

Оскільки $p_а - p_2 = p_{вак}$, а $p_{вак} / \gamma = h_{вак}$, отримаємо:

$$h_{ус} = h_{вак} - (1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta) \frac{V^2}{2g}.$$

Для надійної роботи насосів приймається $h_{вак} < 7...8$ м.

2. Постановка завдання

Вода із закритого резервуара, з постійним її рівнем, витікає по напірному трубопроводу діаметром $d = 200$ мм і довжиною $l = 50$ м в атмосферу. Трубопровід закінчується насадкою діаметром $d_н = 10$ мм, з коефіцієнтом місцевого опору $\zeta_{нас} = 0,04$ (рис.2). Насадка розташована нижче рівня води в резервуарі на величину $H = 5$ м.

Який тиск p_0 необхідно створити на поверхні води в резервуарі щоб забезпечити витрату води в трубопроводі $Q = 0,5$ л/с?

В розрахунках прийнято: абсолютну шорсткість трубопроводу $\Delta = 0,2$ мм; кінематичну в'язкість води $\nu = 0,01$ см^2/с; атмосферний тиск $p_а = 98,1$ кПа;

коефіцієнти місцевих опорів: на вході в трубопровід $\zeta_{вх}$ = 0,5, в місцях поворотів трубопроводу $\zeta_{пов}$ = 0,1, коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей по перерізу потоку α = 1,05, питому вагу води γ = 9,81 кН/м^3

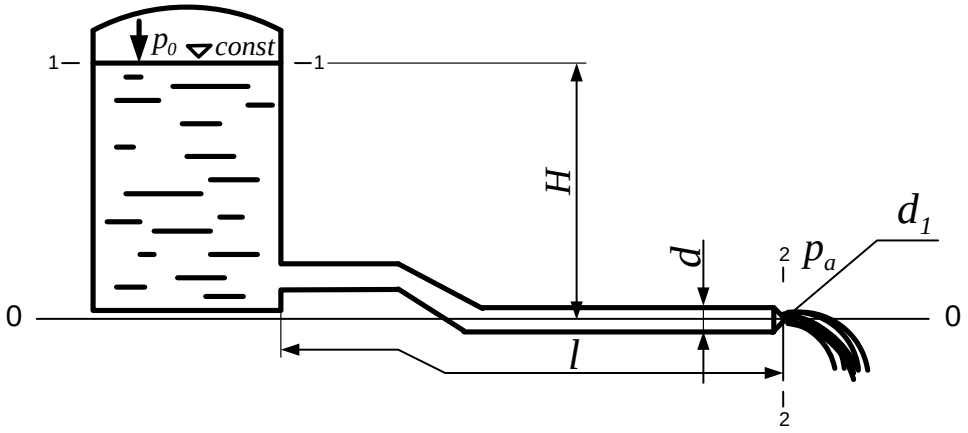

Рис. 2 Схема до розрахунку гідравлічно короткого трубопроводу

3. Приклад розв'язку завдання

Цю задачу слід розв'язувати із застосуванням рівняння Бернуллі:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_в$$

При призначенні перерізів та площини порівняння слід керуватися правилами застосування рівняння Бернуллі, а саме - перерізи та площину порівняння слід призначати таким чином щоб найбільша кількість величин були б відомими, або пошуковими, або дорівнювали б нулю.

1. Призначимо перерізи та площину порівняння.

Виходячи з наведеного перший переріз 1-1 доцільно призначити на вільній поверхні рідини в резервуарі де тиск p_1 буде пошуковим і дорівнюватиме p_0. Враховуючи значні поперечні розміри резервуара в порівнянні з розмірами трубопроводу швидкість в перерізі 1-1 , буде незначною і нею можна знехтувати тобто прийняти $V_1 = 0$. Площину порівнянні слід прийняти на рівні осі нижньої частини трубопроводу, що дасть змогу Z_1 вважати рівною H, тобто $Z_1 = H$. Другий переріз 2-2 слід прийняти на виході із насадки тоді Z_2 буде дорівнювати нулю, тобто $Z_2 = 0$, оскільки площина порівняння проходить через центр перерізу, тиск $p_2 = p_a$ оскільки вода витікає

в атмосферу, швидкість в перерізі 2 -2 $V_{2\text{-}2}=V_2$, тобто вона буде мати певне значення.

Втрати напору згідно формул будуть:

$$h_в = h_{M_{вх}} + 2h_{M_{пов}} + h_{M_{нас}} + h_{дов}$$

Підставимо значення величин в рівняння Бернуллі, тоді:

$$H + \frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + (\zeta_{вх} + 2\zeta_{пов} + \frac{\lambda l}{d}) \bullet \frac{V^2}{2g} + \zeta_{нас} \bullet \frac{V_2^2}{2g}$$

2. Знайдемо швидкість руху води в трубопроводі V та на виході із насадки V_2 за формулою $V = 4Q/(\pi d^2)$

$$V = \frac{4 \bullet 0{,}0005}{3{,}14 \bullet 0{,}2^2} = 0{,}0159 м/с = 1{,}6 см/с$$

$$V_2 = \frac{4 \bullet 0{,}0005}{3{,}14 \bullet 0{,}01^2} = 6{,}37 м/с$$

3. Встановимо, за якою формулою слід визначати λ. Для цього встановимо рижим руху води в трубопроводі за формулою:

$$R_e = Vd/\nu$$

$$R_e = \frac{1{,}6 \bullet 20}{0{,}01} = 3200$$

Оскільки $R_e > R_{e_{КР}}$ = 2320 режим руху буде турбулентним. Знайдемо зону опорів, для чого вирахуємо перше граничне число Рейнольда

$$R_{e_{ГРІ}} = 50\frac{d}{\Delta}$$

$$R_{e_{ГРІ}} = 50\frac{200}{0{,}2} = 50000$$

Оскільки $R_{e_{КР}} < R_e < R_{e_{ГРІ}}$ буде мати місце зона гідравлічно гладкого руху і в цьому випадку згідно (1.189) коефіцієнт λ визначається за формулою:

$$\lambda = 0{,}3164/\sqrt[4]{R_e}$$

$$\lambda = 0{,}3164/\sqrt[4]{3200} = 0{,}043$$

4. Для знаходження пошукового тиску на вільній поверхні води в резервуарі p_0 розв'яжемо отримане рівняння Бернуллі відносно p_0

$$p_0 = p_a + \gamma \quad (\zeta_{вх} + 2\zeta_{пов} + \frac{\lambda l}{d})\frac{V^2}{2g} + (\alpha + \zeta_{нас}) \bullet \frac{V_2^2}{2g} - H$$

$$p_0 = 98{,}1 + 9{,}81 \bullet \left[\left((0{,}5 + 2 \bullet 0{,}1 + \frac{0{,}043 \bullet 50}{0{,}2}) \bullet \frac{0{,}016^2}{2 \bullet 9{,}81} + (1{,}05 + 0{,}04) \bullet \frac{6{,}37^2}{2 \bullet 9{,}81} - 5 \right) \right] =$$

$$= 71{,}1 кН / м^2$$

Оскільки тиск p_0 менше атмосферного, то на вільній поверхні слід створити ваккуметричний тиск значення якого визначається формулою $p_{вак} = p_a - p_0$

$$p_{вак} = 98{,}1 - 71{,}1 = 27 кН / м^2$$

4. Самостійне завдання

Самостійно виконати гідравлічний розрахунок короткого трубопроводу згідно поставленого завдання за варіантами – Таблиця 2, варіант вибирається по останній цифрі номера залікової книжки.

Таблиця 2- Вихідні дані для виконання завдання

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	50	80	100	125	150	200	250	300	350	400
V , м/с	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
l ,м	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80
$d_н$,мм	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
H , м	1	2	3	4	5	5,5	6	6,5	7	7,5