

Деньгуб В.І.
ДВНЗ «КНУ» м. Кривий Ріг

ВПЛИВ ГЕОДЕЗИЧНИХ УМОВ ПРОКЛАДАННЯ СИФОННИХ ТРУБОПРОВОДІВ НА МЕТОД ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОПУСКНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ

Вступ. Використання сифонних трубопроводів має певні переваги, які полягають в наступному. Їх наземне прокладання дешевше з точки зору капітальних вкладень, ніж сполучення резервуарів (водоймищ) за допомогою тоннелів. Після пуску сифонні трубопроводи працюють в автономному режимі і не потребують енергетичних витрат. Але при проектуванні сифонних трубопроводів виникають певні труднощі, обумовлені як геодезичними умовами їх прокладання, так і гідравлічними характеристиками трубопроводів.

Результати дослідження Метод розрахунку сифонних трубопроводів наведений в довідковій, учбовій та окремих статтях [1-4]. Але всі вони, як правило, рекомендують виконувати методом послідовних наближень. Це потребує певного об'єму часу і викладені методи не розкривають суті гідравлічного режиму роботи сифонних трубопроводів в цілому.

Мета досліджень Для усунення недосконалості відомих методів розрахунку необхідно проаналізувати сполучення комбінацій геодезичних умов прокладання трубопроводів та їх гідравлічних характеристик. На основі їх досліджень визначити інтервали діаметрів трубопроводів та об'ємних витрат і спростити методи розрахунків.

Викладання матеріалу та результати

Для запобігання вскипання води в найвищій точці підйому всмоктувальної частини трубопроводу повинна використовуватись домінантна вимога.

Вакууметрична висота $h_{вк}$ має бути не більшою за 7 м (див. рис. 1). В аналітичному вигляді для запобігання зриву вакууму повинна зберігатись умова нерівності

$$h_{вк} > h + H(1/\lambda/D + \zeta_l)(L/\lambda/D + \zeta_L)^{-1}, \quad (1)$$

де h - висота підйому сифонного трубопроводу, м; H - різниці рівнів у водоймищі та резервуарі, м; l - довжина всмоктувальної частини трубопроводу, м; L - загальна довжина трубопроводу, м; λ - гідравлічний коефіцієнт тертя; D - внутрішній діаметр трубо-

проводу, м; ζ_l - сума коефіцієнтів місцевих опорів на всмоктувальній ділянці трубопроводу довжиною l ; ζ_L - сума коефіцієнтів місцевих опорів всього трубопроводу (методика розрахунку місцевих опорів ζ_l і ζ_L в сифонному трубопроводі автором не розглядається в зв'язку з наявністю відомих джерел [5, 6]).

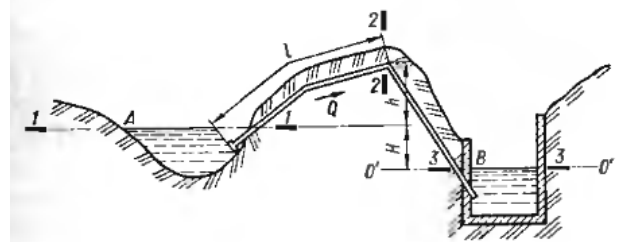


Рис.1. Схема сифонного трубопроводу

Шляхом введення нових параметрів

$$h = (h_{вк} - h) / H \quad (2)$$

та змінної x $x = \lambda / D \quad (3)$

отримано розв'язок нерівності (1) відносно параметра h

$$x = (1 + \zeta_l - h \zeta_l) / (hL - l). \quad (4)$$

Проаналізуємо перший випадок, коли неможливо змінити геодезичні рівні (умови) прокладання сифонного трубопроводу на основі формули (4).

З фізичної точки зору значення x повинно бути додатнім, що буде забезпечуватись одночасно при додатніх значеннях як чисельник, так і знаменника залежності (4). Це можливо, якщо параметр h , що обчислений за формулою (2), буде приймати значення в середині відкритого інтервалу обмеженої довжини (розміру)

$$l/L < h < (1 + \zeta_l) / \zeta_L \quad (5)$$

В другому випадку, коли значення h , розраховане за формулою (2) не буде належати до інтервалу (5) і приймати значення $h > (1 + \zeta_l) / \zeta_L$ і тоді параметр x буде приймати від'ємні значення.

В сифонному трубопроводі спостерігається турбулентний режим руху, а тому значення гідравлічного тертя λ для сталевих труб з еквівалентною жорсткістю

$k_e=0,5*10^{-3}$ м розраховується за відомою формулою Шифринсона Б.Л. [6]

$$\lambda=0,11(k_e/D) \quad (6)$$

$$D \leq 3, 74*10^{-2}x^{0,8} \quad (7)$$

Більш конкретні значення D приймаються за стандартними розмірами відповідно до табл. 1.

Аналіз розрахунків, що наведені в табл. 1, а також нерівності (7) показує наступне. Лише умовним діаметром D сифонного трубопроводу і параметром x існує обернена залежність: зі збільшенням значення x змен-

шується розмір трубопроводу D і, навпаки, при зменшенні параметра x , зростає значення D . Інтервал зміни x буде в свою чергу визначатись на основі розрахунків значень h , що належать до інтервалу (5)

Мінімальному значенню x_{min} при відомому значенню h буде відповідати максимальний діаметр D_{max} , при якому не буде відбуватись вскипання рідини при максимальній пропускній спроможності трубопроводу Q_{max} .

Таблиця 1 - Значення стандартних діаметрів умовного проходу сталевих трубопроводів та їх параметрів λ і x

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D, м$ | 25 | 50 | 60 | 75 | 80 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 |
| λ | 0,041 | 0,035 | 0,033 | 0,031 | 0,031 | 0,029 | 0,028 | 0,026 | 0,025 | 0,024 | 0,023 | 0,022 |
| $X=\lambda/D$ | 1,654 | 0,696 | 0,554 | 0,419 | 0,387 | 0,292 | 0,221 | 0,173 | 0,145 | 0,123 | 0,093 | 0,074 |
| $D, м$ | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 |
| λ | 0,021 | 0,021 | 0,020 | 0,020 | 0,019 | 0,018 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,016 | 0,015 | 0,014 |
| $X=\lambda/D$ | 0,061 | 0,052 | 0,045 | 0,039 | 0,031 | 0,026 | 0,022 | 0,019 | 0,017 | 0,013 | 0,011 | 0,009 |

$$Q_{max}=0.785D_{max}^2[2gH(x_{min}L+\zeta_L)^{-1}]^0 \quad (8)$$

і виконуватись умова нерівності (1). Сифонний трубопровід буде працювати і при менших діаметрах ($D < D_{max}$), але при цьому зменшується його пропускна здатність.

Проаналізуємо випадок, коли можливо змінювати геодезичні висоти h , H прокладання сифонних трубопроводів. При значеннях $h > (1 + \zeta_i) / \zeta_L$ чисельник залежності (4) приймає від'ємне значення і діаметр D неможливо розрахувати на основі залежності (7). В такому разі сифонний трубопровід при $H < h_{ек} (H < 7 м)$ буде працювати подібно до скидальної труби, бо висота підйому h найвищої точки трубопроводу приймає малі значення. Інтервал зміни діаметрів трубопроводів може змінюватись в межах $0 < D < \infty$ (на практиці вони можуть змінюватись відповідно до табл. 1 $0,025 \leq \alpha \leq 1,6 м$). При виборі діаметра $D > 1,6 м$ параметр x розраховується за формулою

$$x=1,645*10^{-2}D^{-1,25} \quad (9)$$

а об'ємна витрата Q рідини (води) обчислю-

ється за формулою, аналогічній залежності (8) з заміною значення x_{min} на x і D_{max} на D .

При проектуванні сифонних трубопроводів виникає задача: при заданих значеннях $h_{ек}=7 м$, H та h і об'ємній витраті Q підібрати діаметр D трубопроводу. В обох випадках задача розв'язується методом стислих відображень за допомогою послідовного використання наступної формули

$$D_i=0,536Q^{0,5}[(x_iL+\zeta_L)/H], i=0.1 \dots n, \quad (10)$$

при значенні $x_0=0$.

Після розрахунку D_0 за формулою (9) визначають x_1 і на основі залежності (10) розраховується D_1 . Подібні розрахунки за формулами (9) і (10) виконуються до співпадання значень D_i і D_{i+1} до третьої цифри після коми. Результуючим значенням приймають стандартний розмір D_{cm} трубопроводу з умови $D_{cm} \approx D_{i+1}$. Після вибору діаметра D_{cm} за формулою (8) уточнюють значення об'ємної витрати Q_{cm} .

Для наближення величини Q_{cm} до заданої витрати Q при можливості зміни різниці рівнів рідини в резервуарі H змінюють на різницю H_n , $H_n = H(Q_{cm}/Q)^2$ (11)

Останнім кроком розрахунків як при виборі D , так і при заданому значенні Q є перевірка умови (1).

В якості ілюстрації застосування результатів досліджень розглянуто два приклади розрахунку сифонних трубопроводів при різних геодезичних умовах їх прокладання.

Приклад 1. Сифонний трубопровід прокладено згідно схеми, зображеної на рис. 1. Параметри прокладання і трубопроводу наступні: $h_{вк} = 7\text{м}$; $h = 3,9\text{м}$; $H = 4\text{м}$; $\zeta_l = 5,3$; $\zeta_L = 6,8$; $l = 30\text{м}$; $L = 50\text{м}$. Визначити максимально можливий діаметр D_{max} трубопроводу і його пропускну здатність Q_{max} .

Порядок розрахунку 1. За формулою (2) визначається відносна висота $h = 0,625$ і оцінюється нерівність (5): $0,6 < h < 0,926$. Значення $h = 0,775$ належить інтервалу (5), а тому за формулою (4) розраховується значення $x = 0,118$. Згідно з табл.1 приймається $x_{min} = x_{маб} = 0,123 > 0,118$, якому відповідає $D_{маб} = 0,2\text{м} = D_{max}$. Розрахунок Q_{max} за формулою (8) дає значення $Q_{max} = 0,0773\text{м}^3/\text{с}$ ($77,3\text{ л/с}$). Перевірка нерівності (1) підтверджує її справедливості $7\text{м} > 6,986\text{м}$. Таким чином приймається $D_{max} = 200\text{ мм}$; $Q_{max} = 0,0773\text{ м}^3/\text{с}$.

Приклад 2. Сифонний трубопровід прокладено згідно з рис. 1. Параметри прокладання і сума місцевих опорів трубопроводу аналогічні прикладу 1 за винятком $h = 2\text{ м}$. Визначити діаметр трубопроводу, який буде здатний забезпечити пропуск води об'ємом $Q = 2,0\text{ м}^3/\text{с}$.

Порядок розрахунку 2. За формулою (2) обчислюється значення $h = 1,25$ і оцінюється нерівність (5): $0,6 < h < 0,926$. Значення $h = 1,25$ не належить до інтервалу оцінки, а тому сифонні трубопроводи можуть приймати довільні значення $0 < D < \infty$. Залежність (4) при $h = 1,25$ буде мати від'ємне значення і не придатна для обчислень діаметрів D за формулою (7). На основі формули (10) при $x_0 = 0$ розраховується значення D_0

$$D_0 = 0,536 * 2^{0,5} [(0 * 50 + 6,8) / 4]^{0,25} = 0,866(\text{м}).$$

За формулою (9) розраховується значення x_1

$$x_1 = 1,645 * 10^{-2} (0,866)^{-1,25} = 0,0197$$

На основі залежності (10) для $x_1 = 0,0197$ отримано $D_1 = 0,895(\text{ м})$. За табл.1 приймається

$D_{cm} = 0,9\text{ м}$ (900 мм) при $x_{cm} = 0,019$. Розрахунок об'ємної витрати Q за формулою (8) дає значення $Q_{cm} = 2,023(\text{ м}^3/\text{с})$, що на $1,15\%$ перевищує проектну вимогу ($2,0\text{ м}^3/\text{с}$). Нерівність (1) також справджується при вказаних умовах $7\text{м} > 5,55\text{м}$. Отримані значення $D = 0,9\text{ м}$ і $Q_{cm} = 2,023\text{ м}^3/\text{с}$ можливо залишити кінцевим результатом.

Якщо є можливість в прикладі 2 змінити різницю рівнів $H_y = 4,5\text{ м}$ (замість $H = 4\text{ м}$), то при незмінному діаметрі $D_{cm} = 0,9\text{ м}$ відповідно до залежності (11) пропускну здатність сифонного трубопроводу досягне значення $Q_y = Q_{cm} (H_y/H)^{0,5} = 2,023 (4,5/4,0)^{0,5} = 2,15(\text{ м}^3/\text{с})$ і буде справедлива нерівність $7\text{м} > 5,55\text{м}$.

Висновки та напрямок подальших досліджень

1. При значних капітальних вкладеннях спорудження тоннелів між водоймищами для пропуску води і порівняно невеликих об'ємних витратах більш доцільним є використання сифонних трубопроводів, що не потребують експлуатаційних витрат при їх експлуатації.
2. Для висоти підйому найвищої точки трубопроводів в межах $2,5\text{--}5,0\text{ м}$ і різницею верхніх рівнів між водоймищами в межах $3,5\text{--}6,0\text{ м}$ сифонні трубопроводи обмежені максимально допустимим діаметром та максимальною пропускну здатністю і можуть працювати в більш вузькому діапазоні зміни діаметрів та об'ємних витрат.
3. Для висот підйому найвищої точки трубопроводів до $2,5\text{ м}$ і різницею рівнів в водоймищах до $4,5\text{ м}$ гідродинамічний режим роботи сифонного трубопроводів наближається до режиму роботи скидальної труби, що дозволяє використовувати трубопроводи довільного діаметра і значної пропускну здатності.
4. Виконані дослідження та запропоновані на їх основі методи розрахунку сифонних трубопроводів дозволяють оцінити геодезичні умови прокладання трубопроводів, виявити їх вплив на роботу трубопроводів і зменшити об'єм розрахунків при проектуванні.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Інженерна гідравліка. Підручник для студентів вищих навчальних закладів.-К.: Видавничий Дім «Слово», 2006.-432 с.
2. Справочник по гідравліке. Под редакцией Большакова В.А.-Вища школа, 1977, 280 с.

3. Примеры расчетов по гидравлике. Учеб. пособие для вузов. Под ред. А.Д.Альтшуля-М.:Стройиздат, 1977, 225 с.
4. Деньгуб В.І. Узагальнений метод розрахунку сифонних трубопроводів – ДВНЗ «Криворізький національний університет». «Гірничий вісник». Наук.-техн. збірник. Вип 95(1), 2012, с 230-232
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. М.: Книга по требованию, 2012. - 466 с
6. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. С.Пб: АНО НПО «Мир и семья», 2001. 1154 с.

УДК 621.22 (6.04)

Деньгуб В.І.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АЛГОРИТМ НАБЛИЖЕНИХ РОЗРАХУНКІВ ГІДРАВЛІЧНОЇ КРУПНОСТІ ЗЕРНИСТИХ ЗАВИСІВ ГІДРОТРАНСПОРТУ

Вступ. Кінцевою метою підготовки фахівців зі спеціальності «Водопостачання і водовідведення» є вміння проектувати і експлуатувати системи безнапірного та напірного гідротранспорту зернистих зависів. Вихідними даними для ряду задач транспортування твердих частинок та оцінки їх осідання в відстійниках та хвостосховищах є визначення гідравлічної крупності в залежності від розмірів частинок, форми та густини.

Результати дослідження. Питанню розрахунків гідравлічної крупності зернистих та шароподібних частинок присвячено цілий ряд досліджень [1,2,3,4]. Відомі як теоретичні, так і експериментальні залежності безпосереднього визначення гідравлічної крупності окремих видів зернистих частинок для обмеженого інтервалу зміни чисел Рейнольдса [5,6]. Але найбільш загальнозживаним і точним є метод послідовних наближень з використанням значень коефіцієнта лобового опору [4,7]. Через складну залежність лобового опору частинок різного виду відсутня їх універсальна аналітична залежність від чисел Рейнольдса. Внаслідок цього використовуються окремі експериментальні дані в вигляді графічної залежності або емпіричної формули. Другою складністю виконання наближених розрахунків гідравлічної крупності частинок є відсутність алгоритму розрахунків з рекомендаціями значення першого наближення та ряду наступних значень.

Метою даних досліджень є використання формули розрахунку гідравлічної крупності в неявному вигляді від значень коефіцієнта лобового опору і розробка на її основі алгоритму виконання послідовних наближень.

Гідравлічна крупність $V_{г.к.}$ (м/с) части-

нок розраховується за формулою

$$V_{г.к.} = \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd}{3\rho C_T}} \tag{1}$$

де: ρ_m, ρ - густина частинок і рідини, відповідно, кг/м³; $g=9,81$ Н/кг; d – діаметр частинок, м; C_T – коефіцієнт опору при русі частинок в рідині.

Коефіцієнт опору C_T частинок залежить від числа Рейнольдса, що пов'язане зі швидкістю $V_{г.к.}$

$$Re = \frac{dV_{г.к.}}{\nu} \tag{2}$$

де ν – кінематична в'язкість рідини, м²/с.

Експериментальні дані А.П. Зегджа залежності опору частинок неправильної форми від числа Рейнольдса наведені на рис. 7.2 [7]. Розрахункова формула (1) має неявну залежність між параметрами $V_{г.к.}$ та C_T , а тому значення $V_{г.к.}$ визначаються шляхом послідовних наближень з використанням графіку на рис. 7.2 [7]. Відомі методики розрахунку $V_{г.к.}$ не містять алгоритму послідовних наближень, а тому для досягнення необхідної точності треба виконати значний об'єм обчислень. Для усунення вказаного недоліку авторами застосовані наступні математичні перетворення.

Спочатку ліву і праву частину формули (1) було домножено на вираз d/ν , а потім прологарифмовано при десятковій основі логарифмів. В результаті була отримана формула послідовних наближень

$$\lg Re = \lg \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd^5}{3\rho \nu^2}} - 0,5 \lg C_T \tag{3}$$