

Тема 6. Особливості гідравлічних комплексів систем очищення речовин, що транспортуються

Мета вивчення теми : засвоєння перевірки адекватності математичної моделі систем очищення речовин, що транспортуються, усвідомлення принципів перевірочних розрахунків елементів систем водовідведення та їх застосування для оперативного управління.

План

1. Аналіз гідравлічних характеристик елементів систем очищення речовин, що транспортуються.
2. Перевірка адекватності математичної моделі систем очищення речовин, що транспортуються.
3. Особливості перевірочних розрахунків напірних елементів систем водовідведення та їх застосування для оперативного управління.
4. Особливості перевірочних розрахунків безнапірних елементів систем водовідведення та їх застосування для оперативного управління.

1. Гідравлічні характеристики елементів систем водовідведення

Основними елементами систем водовідведення, які пов'язані в єдиний гідравлічний комплекс, являються:

- лінії, які відводять стоки - напірні колектори, ділянки самопливної мережі;
- приймачі стічних вод;
- ємності-регулятори;
- елементи, які перекачують стоки - насоси, пневматичні установки.

Гідравлічні характеристики напірних елементів систем водовідведення аналогічні характеристикам відповідних елементів систем водопостачання. Разом з тим при однаковій структурі цих характеристик вони повинні враховувати особливості систем водовідведення. Так, наприклад, напірні колектори мають такі ж характеристики, як і водоводи, тобто,

$$P_i - P_k = h_{ik} = S_{ik} Q_{ik}^2 .$$

Проте, якщо в водопровідних мережах в певних випадках швидкість руху води може бути невеликою ($<0,7$ м/с), то в системах водовідведення така швидкість дуже не бажана, а якщо вона має місце, то необхідно використовувати спеціальні міри для промивки ліній. Крім того, гідравлічні характеристики напірних колекторів систем водовідведення мають більшу залежність від терміну експлуатації.

На відміну від систем водопостачання в системах водовідведення немає водоживлювачів у вигляді резервуарів (за виключенням очисних споруд). Характеристики **Q-N** багатьох каналізаційних насосів в межах області, яка

рекомендується для їх використання, близькі до прямої, тобто, така ділянка характеристики може бути описана рівнянням прямої

$$H = a_0 - a_1 Q_1 ,$$

де a_0 і a_1 - коефіцієнти, які визначаються з графічної характеристики.
Для крайніх точок робочої ділянки

$$\begin{cases} H_1 = a_0 - a_1 Q_1 , \\ H_2 = a_0 - a_1 Q_2 . \end{cases}$$

Звідки

$$a_1 = \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1} ; \quad a_0 = H_1 + \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1} Q_1 .$$

Пневматичні установки, які використовуються для перекачки стоків, мають гідравлічні характеристики, що подібні водопровідним, тобто,

$$P_{\text{абс}} W = \text{const.}$$

Стічні води надходять в систему водовідведення через санітарні прилади. Самопливний режим роботи в системах водовідведення послаблює взаємний зв'язок витрати і напору, і для більшості санітарних приладів ним можна знехтувати. В цьому випадку характеризувати санітарні прилади можна витратами води з них $Q_{\text{пр}}$ і їх висотою розміщення відносно точки приєднання до мережі або абсолютною позначкою $Z_{\text{пр}}$.

В окремих випадках (наприклад, для приймачів стічних вод промислових підприємств) враховується пропускна здатність системи водовідведення з приладу

$$H_{\text{пр}} = S_{\text{ов}} Q_{\text{пр}}^2 ,$$

де $S_{\text{ов}}$ - опір системи водовідведення від приладу;
 $Q_{\text{пр}}$ - витрата води від приладу.

Ємності - регулятори в залежності від задач, які розв'язуються, можна описати напірно-витратною характеристикою вигляду

$$H = Z_{\text{рв}} - S Q^2 ,$$

де $Z_{\text{рв}}$ - позначка рівня води в ємності;

S - опір системи водовідведення;

Q - витрата, яка відбирається з ємності.

або витратно-тривалісною характеристикою

$$t = W / Q ,$$

де W - об'єм ємності;

t - термін спорожнення (наповнення);

Q - витрата спорожнення (наповнення).

Ділянки самопливної мережі характеризуються ухилом, який забезпечує необхідну пропускну можливість для відводу стоків при необхідному наповненні. Аналітичне описання характеристики самопливної лінії буде мати вигляд

$$Z_{\text{к}} = Z_{\text{н}} - h_{\text{вт}} = Z_{\text{н}} - il = Z_{\text{н}} - \frac{q^2 l}{w^2 c^2 R} = Z_{\text{н}} - K^2 ,$$

де $Z_{\text{к}}$ і $Z_{\text{н}}$ - позначки рівня води (або лотка) в кінці і на початку ділянки відповідно;

l - довжина ділянки;

q - витрата ділянки;

w - площа живого перерізу потоку;

c - коефіцієнт Шезі;

R - гідравлічний радіус;

K - модуль витрати трубопроводу.

2. Задачі перевірочних розрахунків комплекту водовідведення

Головна ціль перевірочних розрахунків - визначення необхідних заходів в системі водовідведення для забезпечення її нормальної роботи в умовах зміни надходження стоків.

Витрата стоків може як збільшуватися, так і зменшуватись. Збільшення витрати стоків пов'язано із збільшенням кількості населеного пункту і з розширенням промислових підприємств. При цьому необхідно врахувати також, що на параметри системи водовідведення впливає не тільки величина витрати, але і місце розташування зони зміни витрати в системі. Так, наприклад, якщо зона зміни витрати знаходиться на початку мережі, то це позначиться практично на всіх її ділянках від цієї зони до очисних споруд або до випуску. Якщо зона збільшення витрати буде знаходитися в кінці мережі, то це позначиться тільки на кінцевих ділянках колектору, на очисних спорудах і на випуску. На характеристики мережі впливає не тільки місце розташування зон зміни витрат, але і зміна інтенсивностей надходження стоків (наприклад, при реконструкції району з заміною забудови будинками з

більшою кількістю поверхів). В цьому випадку змінюються витрати стоків, які надходять від бокових приєднань, а отже і зосереджені витрати в колектори.

В мережі водовідведення необхідно враховувати не тільки збільшення, але і зменшення витрат тому, що таке зменшення приводить до зменшення швидкостей, збільшення відкладень в трубах і збільшення кількості засмічень трубопроводів. Зменшення витрат може мати місце в зв'язку із зміною напрямку забудови міста, перепланування міста, зміною структури промисловості, вимогами охорони навколишнього середовища.

Перевірочні розрахунки також необхідні при підключенні до мережі нових колекторів. Таким чином, загальні задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення зводяться до наступних задач:

- Перевірка можливостей пропуску по існуючим мережам збільшеної витрати стоків.
- Визначення діаметрів додаткових колекторів.
- Перевірка можливості підключення додаткових колекторів до існуючих мереж.
- Перевірка можливостей перекачки додаткових витрат води.
- Реконструкція станцій, які перекачують стоки.
- Реконструкція очисних споруд.

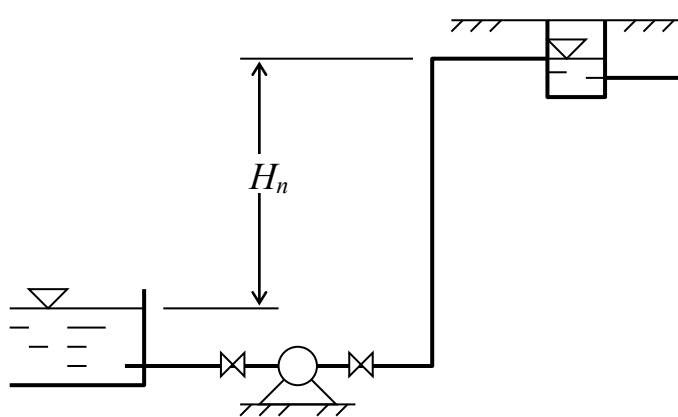
3. Перевірочні розрахунки напірних елементів систем водовідведення

До напірних елементів систем водовідведення відносяться: напірні колектори, насоси, пневматичні установки, дюкери, гравітаційні трубопроводи очисних споруд. В усіх цих елементах характеристики в кінцевому рахунку можуть бути представлені у вигляді $H=f(Q)$. В зв'язку з цим основні типи задач зводяться до визначення максимальної витрати, яку може пропускати система, що аналізується, при заданому перепаді напорів або до визначення необхідного напору для пропуску заданої витрати.

Можливість збільшення пропускної можливості системи "насос - напірний колектор" базується на тому, що насоси насосних станцій систем водовідведення мають запаси продуктивності. Тому стійкість системи досягається за рахунок переміщення робочої точки.

Розглянемо схему роботи насосу на напірний колектор (рис. 25). Така схема використовується при необхідності зменшення глибини прокладки самопливного колектору та при перекачці стоків на очисні споруди.

Напір, який повинен розвивати насос, визначається за формулою:



$$H_n = H_{\text{п}} + \sum h_{\text{к}},$$

де $H_{\text{п}}$ - геометрична висота підйому;
 $\sum h_{\text{к}}$ - сумарні втрати напору в комунікаціях.

Рисунок 6.1 - Схема перекачки стічних вод

$$\begin{aligned} \sum h_k &= h_{\text{дов}} + h_M = S_H Q^2 + \sum h_{\text{MH}} + S_{\text{BC}} Q^2 \frac{v_{\text{BC}}^2}{\sum \xi} \sum h_{\text{MBC}} = \\ &= (1,1 \div 1,15) S_H Q^2 + S_{\text{BC}} Q^2 + \frac{\sum \xi}{2g} v_{\text{BC}}^2 \sum h_{\text{MBC}} \end{aligned}$$

де S_H і S_{BC} - опір напірного і всмоктувального трубопроводів відповідно;
 $\sum h_{\text{MH}}$ і $\sum h_{\text{MBC}}$ - сумарні втрати на місцевий опір відповідно в напірному і всмоктувальному трубопроводі;

v_{BC} - швидкість у всмоктувальному трубопроводі.

З другого боку напір насосу визначається виразом

$$H_H = a_0 - a_1 Q.$$

Ці рівняння дозволяють розв'язувати як пряму, так і зворотну задачу, тобто знайти H_H або Q_H . Таке рішення можливе, якщо в верхньому колодязі або приймальному резервуарі мається залишковий напір насосів. Тоді із збільшенням подачі робоча точка насосів буде переміщуватися по характеристиці **Q-H** насосів, а залишковий напір буде знижуватись.

Якщо залишковий напір в колодязі - гасителі недостатній, то необхідна подача може бути досягнута за рахунок збільшення рівня рідини в приймальному резервуарі насосної станції. Коли це неможливо, то збільшення пропускної здатності системи "насос - напірний колектор" може бути досягнуто за рахунок зниження опору комунікацій.

Розглянемо сумарні втрати напору в комунікаціях

$$\sum h_k = h_{\text{дов}} + h_M = S_H Q^2 + S_{\text{BC}} Q^2 + \frac{\sum \xi_H v_H^2}{2g} + \frac{\sum \xi_{\text{BC}} v_{\text{BC}}^2}{2g}.$$

Для одного робочого насосу $Q_{\text{BC}} = Q_H$. Тоді

$$\begin{aligned} \sum h_k &= S_H Q^2 + \frac{8Q^2}{\pi^2 D_H^4 g} \sum \xi_H + S_{\text{BC}} Q^2 + \frac{8Q^2}{\pi^2 D_{\text{BC}}^4 g} \sum \xi_{\text{BC}} = \\ &= (S_H + \frac{k}{D_H^4} \sum \xi_H + S_{\text{BC}} + \frac{k}{D_{\text{BC}}^4} \sum \xi_{\text{BC}}) Q^2 = S_K Q^2. \end{aligned}$$

Припустимо, що витрата стоків зростає в α разів. Тоді, для того, щоб напір насосів не збільшувався втрати напору в комунікаціях не повинні зростати, тобто

$$\sum h_{к1} = \sum h_{к2} .$$

Підставимо нове значення витрат в це рівняння. Одержимо

$$S_{к1} Q^2 = S_{к2} (\alpha Q)^2,$$

$$S_{к1} Q^2 = S_{к2} \alpha^2 Q^2.$$

Звідки

$$S_{к2} = S_{к1} / \alpha^2$$

або

$$\sum h'_{к2} = \sum h_{к1} / \alpha^2.$$

Представимо цей вираз через довжину колектора. Для цього розглянемо дві можливі схеми напірних колекторів (рис. 26).

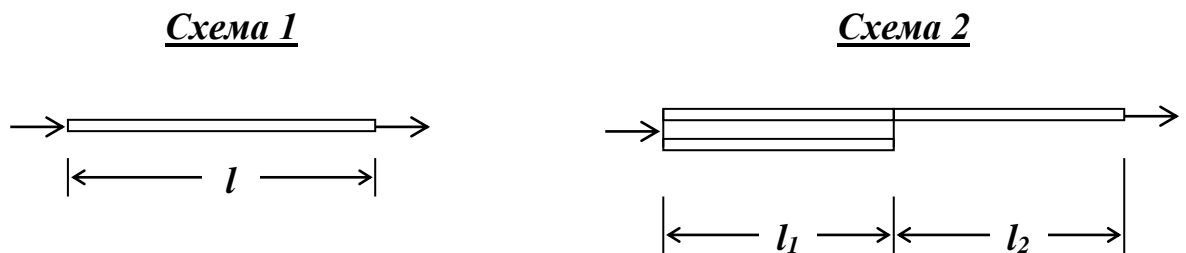


Рисунок 6.2 - Схема напірних колекторів

Припустимо, що зниження загального опору системи досягається паралельним підключенням колектора такого ж діаметру довжиною l_1 . Тоді буде справедливим рівняння

$$\sum h_{сх2} = \sum h_{l_1} + \sum h_{l_2} ,$$

де $\sum h_{l_1}$ - сумарні втрати колекторів за схемою 2;

$\sum h_{l_2}$ - сумарні втрати колекторів довжиною l_1 і l_2 відповідно.

Виразимо сумарні втрати напору через довжину, витрату і кількість колекторів. Тоді $1,1 S_0 l \frac{Q^2}{n^2} = 1,1 S_0 l_1 \frac{\alpha^2 Q^2}{n_1^2} + 1,1 S_0 l_2 \frac{\alpha^2 Q^2}{n^2} ,$

$$\frac{1}{n^2}l = \frac{\alpha^2}{n_1^2}l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2}l_2.$$

$$\frac{1}{n^2}l = \frac{\alpha^2}{n_1^2}l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2}(l-l_1);$$

$$l_2 = l - l_1;$$

$$\frac{1}{n^2}l = \frac{\alpha^2}{n_1^2}l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2}l - \frac{\alpha^2}{n^2}l_1;$$

$$\left(\frac{1}{n^2} - \frac{\alpha^2}{n^2}\right)l = \left(\frac{\alpha^2}{n_1^2} - \frac{\alpha^2}{n^2}\right)l_1.$$

Звідки

$$l_1 = \frac{1-\alpha^2}{\alpha^2} \times \frac{n_1^2}{n^2-n_1^2}l,$$

де α - співвідношення витрат

$$\alpha = Q_1 / Q,$$

Q_1 і Q - збільшена і існуюча витрата відповідно,
 n_1 і n - кількість колекторів на різних ділянках.

Ця ж формула дозволяє визначити, яку частину одного з паралельних колекторів корисно відключити для підтримання необхідного режиму при зменшенні витрати, яка надходить. Однак це не позбавляє від необхідності в окремих випадках прийняття мір в зв'язку зі зниженням швидкості руху стоків в тій частині колекторів, які залишаються.

Пневматичні установки при перекачці стічних вод працюють в циклічному режимі: наповнення приймальної ємності - витискування стоків повітрям. Перший цикл - самопливний, і збільшення витрати, яка надходить, впливає тільки на зменшення його терміну. Другий цикл - напірний. В цьому циклі збільшення витрати стоків приводить до зростання втрат напору в напірному трубопроводі і до збільшення тиску компресора. Ці зміни визначаються наступними співвідношеннями:

- втрати напору в напірному трубопроводі до зміни витрати дорівнюють

$$h_1 = S_1 Q_1^2;$$
- втрати напору в цьому ж трубопроводі при зміні витрат в α разів будуть

$$h_2 = S_1 \alpha^2 Q_1^2;$$
- відносна зміна втрат напору складе

$$h_2 / h_1 = \alpha^2;$$
- повний напір, який повинен забезпечувати компресор з врахуванням змін буде

$$H = H_{\pi} + \alpha^2 h_1,$$

де H_{Π} - частина загального напору, яка необхідна для підймання стоків на висоту між позначкою рівня рідини в приймальному колодязі і позначкою дна ємності апарату.

При значному зростанні втрат напору збільшення пропускної можливості може бути забезпечено збільшенням діаметра напірного трубопроводу або прокладкою додаткового трубопроводу.

Наступним напірним елементом являються дюкери. Втрати напору в дюкері до зміни витрати визначаються рівнянням

$$h_1 = S Q^2 + \sum \xi \frac{v^2}{2g} = S Q^2 + \frac{8 Q^2}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi = \left(S + \frac{8}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi \right) Q^2 .$$

При зміні витрати в α разів втрати напору зростають до величини

$$h_2 = \left(S + \frac{8}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi \right) \alpha^2 Q^2 ,$$

тобто зміна складає

$$h_2 / h_1 = \alpha^2 .$$

Збільшення втрат напору приводить до підтоплення верхньої камери і трубопроводу, який підводить стоки, а зменшення їх - до зниження швидкості руху стоків, яка не повинна бути меншою 1 м/с.

Аналогічні характеристики мають і гравітаційні трубопроводи очисних споруд. Заходи, які пов'язані з цими змінами, залежать від конкретних умов їх експлуатації.

4. Перевірочні розрахунки безнапірних елементів систем водовідведення

До безнапірних елементів систем водовідведення відносяться: самопливні вуличні мережі і колектори, самопливні лотки, ємності-регулятори.

Безнапірні елементи, як і напірні, характеризуються залежностями вигляду $h=f(Q)$, які однаке в системах водовідведення трансформуються у залежність

$$h = i l ,$$

де i - ухил трубопроводу;
 l - довжина трубопроводу.

Враховуючи це, основні типи перевірочних задач зводяться до перевірки можливостей підключення до діючих мереж нових ділянок трубопроводів і до перевірки величин параметрів потоку після зміни витрат, які були на початку. В ємностях-регуляторах, крім гідравлічних параметрів, перевіряються також часові або об'ємні параметри.

Задачі перевірки можливостей підключення нових мереж до діючих розглядаються в двох аспектах:

- перевірка можливостей підключення до колодязя з відомою позначкою лотка при збереженні потрібного гідравлічного режиму в новій мережі;
- перевірка можливості пропуску збільшеної витрати стоків існуючими мережами.

Перший тип задачі передбачає перевірку умови

$$Z_{\max} = Z_{\text{поч}} - il \geq Z_{\text{л}},$$

де Z_{\max} - максимально висока можлива позначка лотка труби нової мережі в місці підключення, тобто, позначка лотка, яка буде в тому випадку, коли початкова глибина закладки і ухил прийняті мінімально допустимими;

i - мінімальний ухил лотка труби, який забезпечує допустиме наповнювання труби і швидкість руху рідини в ній;

l - довжина мережі;

$Z_{\text{л}}$ - позначка лотка існуючої мережі в місці підключення;

$Z_{\text{поч}}$ - позначка лотка на початку ділянки

$$Z_{\text{поч}} = Z_{\text{пов.з}} - h_{\text{поч}},$$

$Z_{\text{пов.з}}$ - позначка поверхні землі на початку ділянки;

$h_{\text{поч}}$ - початкове заглиблення лотка на початку ділянки.

Ця задача в залежності від того, що доцільніше перевіряти, може зводитись до перевірки таких умов (рис. 6):



Рисунок 6.3 - Схема підключення нової ділянки до існуючої мережі

$$\begin{aligned} Z_{\text{пов.з}} - (Z_{\text{л}} + il) &\leq h_{\text{доп}}, \\ (Z_{\text{пов.з}} - Z_{\text{л}} - h_{\text{доп}})/l &\leq i_{\text{доп}}, \\ (Z_{\text{пов.з}} - Z_{\text{л}} - h_{\text{доп}})/i &\leq l_{\text{необ}}, \end{aligned}$$

де $h_{\text{доп}}$ - допустиме початкове заглиблення мережі;

$i_{\text{доп}}$ - допустимий мінімальний ухил ділянки;

$l_{\text{необ}}$ - необхідна довжина ділянка.

Рішення, які приймаються в результаті перевірки диктуються умовами прокладки (наприклад, утеплення початкової ділянки, збільшення діаметру із зниженням ухилу і т.п.).

Другий тип задачі зводиться до перевірки виконання тих обмежень, які пред'являються до мереж водовідведення, а саме:

$$v_{\text{факт}} \geq v_{\text{доп}}, \quad h/D \leq (h/D)_{\text{доп}},$$

де $v_{\text{факт}}$ і $v_{\text{доп}}$ - фактична і допустима швидкість в трубопроводі;

h - глибина води в трубопроводі.

Витрата в самопливному трубопроводі визначається залежністю

$$Q = w v = w c \sqrt{Ri} = w c \sqrt{\frac{w}{\chi} i}.$$

В вирази для Q і v входять значення $w=f(h/D)$ і $\chi=f(h/D)$, в яких h в свою чергу являється функцією Q та i . Тому задача може розв'язуватись числовими методами або на основі нерівностей

$$\begin{aligned} Q_{\text{факт}} &\leq Q_{\text{проп}}, \\ v_{\text{факт}} &\geq v_{\text{доп}}, \end{aligned}$$

де $Q_{\text{факт}}$ і $Q_{\text{проп}}$ - фактична витрата і витрата в трубопроводі при заданих D і h/D та відповідно;

$v_{\text{факт}}$ і $v_{\text{доп}}$ - фактична і допустима швидкості відповідно;

w - площа живого перерізу потоку;

χ - змочений периметр;

c - коефіцієнт Шезі.

Аналогічні розрахунки проводяться і при самопливних лотках.

Ємності-регулятори в системах водовідведення використовуються двох видів:

- приймальні резервуари насосних станцій;
- ставки-регулятори в системах дощової каналізації.

При розрахунку ємності приймальних резервуарів каналізаційних насосних станцій враховується, що вона повинна бути не меншою п'ятихвилинної максимальної подачі одного насосу і повинна забезпечувати не більше п'ятиразового автоматичного включення насосів. Якщо резервуар виконано із збереженням цих умов, і насоси не замінюються, то збільшення притоку не порушує першої умови. При цьому друга умова також буде зберігатися до тих пір, поки виконується умова

$$Q_{\text{пр}} \leq Q_{\text{макс}} ,$$

де $Q_{\text{пр}}$ - максимальний приток стічних вод;

$Q_{\text{макс}}$ - максимальна подача одного насосу.

При невиконанні цієї умови перевіряється кількість включень насосу з максимальною подачею за формулою

$$n = Q_{\text{пр}} / (4W) ,$$

де W - об'єм резервуару.

Якщо $n > 5$, необхідно прийняти міри по його зниженню (наприклад, додатково з головним насосом включати насос меншої продуктивності).

Ставки регулятори в системах дощової каналізації дозволяють знизити витрати води в елементах, які слідує за ними.

Питання для самоконтролю

1. Які елементи системи водовідведення складають єдиний гідравлічний комплекс?
2. Яка головна мета виконання перевірочних розрахунків систем водовідведення?
3. Які елементи системи водовідведення є напірними?
4. В яких режимах працюють пневматичні установки систем водовідведення?