

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

О.Г. Добровольська

МОНІТОРИНГ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Запоріжжя

2023

УДК 628.1/.2(075)

Д 560

Добровольська О.Г. Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192«Будівництво та цивільна інженерія». Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 26 с.

В методичних вказівках до практичних занять з дисципліни «Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів» представлені завдання, які допоможуть майбутнім фахівцям самостійно вирішувати питання з удосконалення роботи інженерних об'єктів, застосовувати нормативні документи (ГОСТ, ДБН та ін.), науково-технічну літературу; аналізувати і приймати рішення відносно вибору найбільш оптимального варіанту прокладання інженерних комунікацій у населеному районі. Містить ілюстративний (рисунок, схеми) і табличний матеріали.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Рецензенти :

В. А. Банах, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти Запорізького національного університету.

Г. І. Благодарна, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очистки вод Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова.

Відповідальний за випуск :

А. В. Банах, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського будівництва та господарства.

Практичне заняття №1

Тема заняття: Практичне заняття 1. Удосконалення водозабірних інженерних об'єктів

Питання для перевірки засвоєння і контролю теоретичного матеріалу:

- Сутність задач удосконалення водозаборів з підземних джерел?
- Які проблеми виникають при намаганні збільшити продуктивність водозабору, який існує?
- Як враховується взаємний вплив свердловин при визначенні їх продуктивності?
- Суть методів відновлення продуктивності свердловин, які експлуатуються

Мета заняття-набути навички виконання аналізу роботи водозабірних інженерних об'єктів та їх гідравлічних розрахунків.

Задача №1.

Визначити витрату води, яку можна отримати з трьох свердловин, що обладнані насосами ЕЦВ – 10 – 63 – 40Г з подачею $Q = 40 \div 80 \text{ м}^3/\text{год}$ при напорі $H = 50 \div 30 \text{ м}$ і розміщені біля річки відповідно з рис.1. Визначити зниження статичного рівня в кожній із них. Дати аналіз зміни основних параметрів при збільшенні водовідбору на 25%. В вихідному стані можливий дебіт однієї свердловини q_i , водопроникність напірного пласту $K_{\phi m}$; радіус кожної із свердловин $r_0 = 0,2 \text{ м}$. Свердловини досконалі. Геометрична висота підйому води для всіх свердловин H_r . Втрати напору в фільтрі і щілині між обсадною трубою та електродвигуном, в водопідйомних трубах і арматурі умовно прийняти рівними h_2 . Відстані кожної із свердловин від ріки відповідно дорівнюють l_1, l_2, l_3 , а від збірного резервуару відповідно l_4, l_5, l_6 .

Діаметри трубопроводів:

- від кожної свердловини до загальної лінії, яка подає воду в збірний резервуар, - $d = 150 \text{ мм}$;
- від вузла 1 до вузла 2 (рис. 4) - $d = 200 \text{ мм}$;
- від вузла 2 до збірного резервуара - $d = 250 \text{ мм}$.

Труби сталеві з питомими втратами для труб $d = 150 \text{ мм}$ - $S_{01} = 38,969$ (для Q в $\text{м}^3/\text{с}$), $d = 200 \text{ мм}$ - $S_{02} = 6,785$, $d = 250 \text{ мм}$ - $S_{03} = 2,147$.

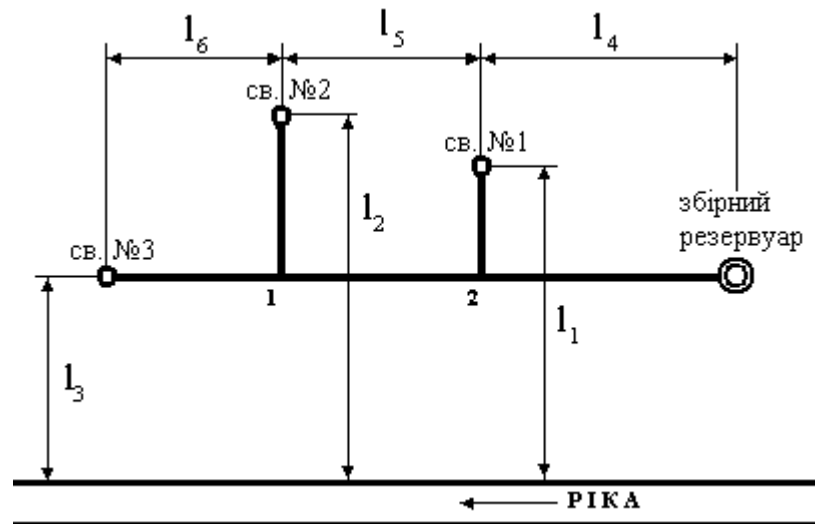


Рисунок 1. – Схема підземного водозабору.

Розв'язування типової задачі.

Дано: $q_i = 20$ л/с, $K_{фm} = 500$ м² / добу, $H_r = 17$ м, $h_2 = 6$ м, $l_1 = 250$ м, $l_2 = 300$ м, $l_3 = 200$ м, $l_4 = 80$ м, $l_5 = 40$ м, $l_6 = 50$ м.

Відстань між свердловинами невелика, і вони будуть працювати у взаємодії. Для розрахунку впливу однієї свердловини на іншу, розмістимо вихідну схему в системі координат X-Y, сумістивши вісь Y з урізом води у річці, а вісь X провівши через центр св.№1 перпендикулярно до вісі Y. Отримаємо схему, яка показана на рис. 2.

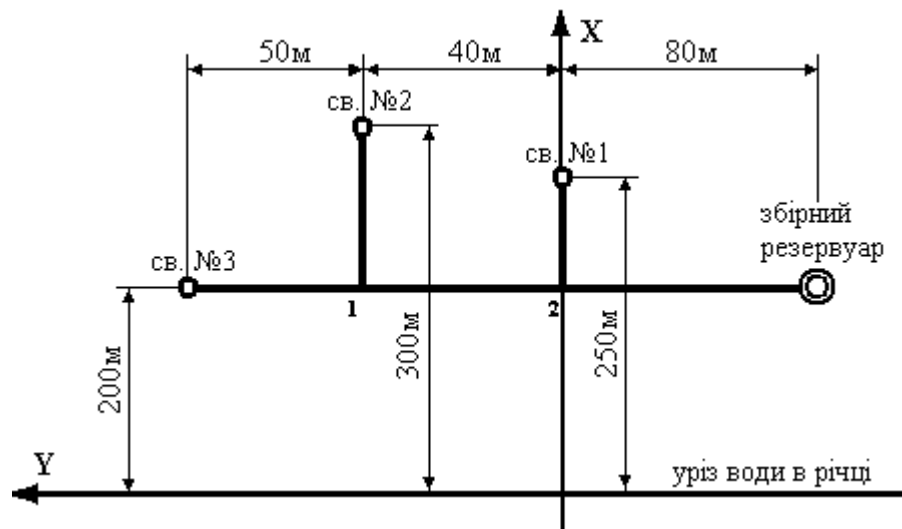


Рисунок 2. – Розрахункова схема водозабору.

Визначаємо питомий дебіт кожної свердловини за формулою:

$$q_{i.num} = \frac{2\pi K_{\phi} m}{\ln(2x_{0i} / r_{0i})},$$

де $K_{\phi} m$ - водопроникність напірного пласту, $K_{\phi} m = 500 \text{ м}^2 / \text{добу}$;

x_{0i} – координата X і-тої свердловини;

r_{0i} – радіус і-тої свердловини.

Тоді для першої свердловини отримаємо:

$$q_{1.num} = \frac{2 * 3,14 * 500}{\ln(2 * 250 / 0,2)} = \frac{3140}{\ln(2500)} = \frac{3140}{7,82} = 401,5 \text{ м}^3 / (\text{добу} * \text{м}) = 16,7 \text{ м}^3 / (\text{год} * \text{м}) = 4,65 \text{ л} / (\text{с} * \text{м}).$$

Питомий дебіт для свердловини №2:

$$q_{2.num} = \frac{2 * 3,14 * 500}{\ln(2 * 300 / 0,2)} = \frac{3140}{8,01} = 392,01 \text{ м}^3 / (\text{добу} * \text{м}) = 16,33 \text{ м}^3 / (\text{год} * \text{м}) = 4,54 \text{ л} / (\text{с} * \text{м})$$

Питомий дебіт для свердловини №3:

$$q_{3.num} = \frac{2 * 3,14 * 500}{\ln(2 * 200 / 0,2)} = \frac{3140}{7,6} = 413,16 \text{ м}^3 / (\text{добу} * \text{м}) = 17,21 \text{ м}^3 / (\text{год} * \text{м}) = 4,78 \text{ л} / (\text{с} * \text{м})$$

Повне зниження статичного рівня в свердловині при відкачці H_{id} визначається за формулою:

$$H_{id} = q_i / q_{i.num} + \Delta h_i, \quad (1)$$

де q_i – питомий дебіт і – ої свердловини,

$q_{i \text{ пит.}}$ – розрахункове додаткове зниження статичного рівня води в свердловині при її взаємодії з сусідніми свердловинами (зрізка).

$$\Delta h_i = \sum_{j=2}^n \frac{q_j}{2\pi K_{\phi} m} * \ln \frac{\rho_{j,i}}{r_{j,i}}, \quad (2)$$

де n - кількість свердловин, що працюють;

$r_{j,i}$ – відстань між свердловинами;

$\rho_{j,i}$ - параметр, який характеризує взаємозв'язок свердловин.

Щоб визначити зрізки води в свердловинах при їх взаємодії, обчислюємо величини відстаней між ними $r_{j,i}$ та параметри $\rho_{j,i}$ (рис.5).

Для першої свердловини при її взаємодії із свердловиною №2:

$$r_{2-1} = \sqrt{(x_{01} - x_{1,2})^2 + y_{1,2}^2},$$

$$\rho_{2-1} = \sqrt{(x_{01} + x_{1,2})^2 + y_{1,2}^2},$$

де x_{01} – координата x_0 свердловини №1,

$x_{1,2}$ і $y_{1,2}$ - координати X та Y свердловини №2,

$$r_{2-1} = \sqrt{(250 - 300)^2 + 40^2} = 64,0 \text{ м},$$

$$\rho_{2-1} = \sqrt{(250 + 300)^2 + 40^2} = 551,4 \text{ м},$$

$$\ln \frac{\rho_{2-1}}{r_{2-1}} = \ln \frac{551,4}{64} = \ln 8,6156 = 2,15.$$

При взаємодії першої свердловини із третьою:

$$r_{3-1} = \sqrt{(x_{01} - x_{1,3})^2 + y_{1,3}^2} = \sqrt{(250 - 200)^2 + 90^2} = 103,0\text{м},$$

$$\rho_{3-1} = \sqrt{(x_{01} + x_{1,3})^2 + y_{1,3}^2} = \sqrt{(250 + 200)^2 + 90^2} = 458,9\text{м},$$

$$\ln \frac{\rho_{3-1}}{r_{3-1}} = \ln \frac{458,9}{103} = \ln 4,4553 = 1,49.$$

Для свердловини №2 при її взаємодії з першою :

$$r_{1-2} = r_{2-1} = 64,0\text{м}, \quad \rho_{1-2} = \rho_{2-1} = 551,4\text{м}, \quad \ln \frac{\rho_{1-2}}{r_{1-2}} = 2,15.$$

При її взаємодії із свердловиною №3:

$$r_{3-2} = \sqrt{(x_{02} - x_{3,2})^2 + y_{3,2}^2} = \sqrt{(300 - 200)^2 + 50^2} = 111,8\text{м},$$

$$\rho_{3-2} = \sqrt{(x_{02} + x_{3,2})^2 + y_{3,2}^2} = \sqrt{(300 + 200)^2 + 50^2} = 502,5\text{м},$$

$$\ln \frac{\rho_{3-2}}{r_{3-2}} = \ln \frac{502,5}{111,8} = \ln 4,4946 = 1,50.$$

Для свердловини №3 при її взаємодії із свердловинами №1 та №2:

$$r_{1-3} = r_{3-1} = 103,0\text{м}, \quad \rho_{1-3} = \rho_{3-1} = 458,9\text{м}, \quad \ln \frac{\rho_{1-3}}{r_{1-3}} = 1,49,$$

$$r_{2-3} = r_{3-2} = 111,8\text{м}, \quad \rho_{2-3} = \rho_{3-2} = 502,5\text{м}, \quad \ln \frac{\rho_{2-3}}{r_{2-3}} = 1,50.$$

Користуючись рівнянням (6), визначаємо зрізки в кожній із свердловин:

– для першої свердловини:

$$\Delta h_1 = \frac{20 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} (2,15 + 1,49) = 2,00\text{м};$$

– для другої свердловини:

$$\Delta h_2 = \frac{20 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} (2,15 + 1,50) = 2,01\text{м};$$

– для третьої свердловини:

$$\Delta h_3 = \frac{20 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} (1,49 + 1,50) = 1,64\text{м}.$$

Для уточнення витрат із кожної свердловини визначаємо умовні опори загальних ділянок для кожної свердловини, виходячи із системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\epsilon 1} = \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 * S_I / q_1^2, \\ S_{\epsilon 2} = \left[\left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 * S_I + \left(\sum_{i=1}^n q_i - q_1 \right)^2 * S_{II} \right] / q_2^2, \\ \dots \\ S_{\epsilon n} = \left[\left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 * S_I + \left(\sum_{i=1}^n q_i - q_1 \right)^2 * S_{II} + \dots + q_n^2 * S_N \right] / q_n^2 \end{array} \right.$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – витрати води з кожної свердловини, які необхідно визначити;

$\sum_{i=1}^n q_i$ - загальна (сумарна) витрата води з цих свердловин;

S_I, S_{II}, \dots, S_N – повні опори окремих ділянок, які являються загальними для відповідних свердловин;

$S_{\text{в1}}, S_{\text{в2}}, \dots, S_{\text{вn}}$ – умовні опори для загальних ділянок.

Повні опори окремих загальних ділянок визначаються за формулою:

$$S_i = S_{oi} * l_i,$$

де S_{oi} - питомий опір і-ої загальної ділянки;

l_i - довжина і-ої загальної ділянки.

Ділянка $d = 250$ мм від збірного резервуара до вузла 2:

$$S_I = 2,147 * 80 / 1000000 = 0,0001717 (c / л)^2 * м;$$

ділянка $d = 200$ мм від вузла 1 до вузла 2:

$$S_{II} = 6,785 * 40 / 1000000 = 0,0002714 (c / л)^2 * м;$$

ділянка $d = 150$ мм від вузла 1 до свердловини 3:

$$S_{III} = 38,969 * 50 / 1000000 = 0,0019484 (c / л)^2 * м.$$

Тоді

$$S_{\epsilon 1} = \frac{(20 * 3)^2 * 0,0001717}{20^2} = 0,0015453 (c / л)^2 * м,$$

$$S_{\epsilon 2} = \frac{60^2 * 0,0001717 + (60 - 20)^2 * 0,0002714}{20^2} = 0,0026309 (c / л)^2 * м,$$

$$S_{\epsilon 3} = \frac{60^2 * 0,0001717 + (60 - 20)^2 * 0,0002714 + 20^2 * 0,0019484}{20^2} = 0,0045793 (c / л)^2 * м.$$

Уточнюються витрати кожної із свердловин за формулою:

$$q_i = \frac{-1 / q_{inum} + \sqrt{(1 / q_{inum})^2 + 4(H_{\phi i} - H_{\Gamma i} - \Delta h_i)(S_{\phi i} + S_{\kappa i} + S_{\epsilon i})}}{2(S_{\phi i} + S_{\kappa i} + S_{\epsilon i})}, \quad (7)$$

де $H_{\phi i}$ і $S_{\phi i}$ – параметри аналітичної напірно – витратної характеристики насосу і-ої свердловини,

S_{ki} - загальний опір комунікацій в і-тій свердловині до загальних ділянок:

$$S_{ki} = h_2 / q_i^2 + 1,1 * S_{oi} * l_i,$$

де h_2 – втрати напору в фільтрі і в щілині між обсадною трубою і електродвигуном, в водопідйомних трубах та арматурі свердловини;

l_i – відстань від свердловини до загальних ділянок збірної мережі;

S_{oi} – питома витрата для труби, яка відходить від свердловини,

$S_o = 38,969$ (для Q в m^3/c).

$$S_{k1} = h_2 / q_1^2 + 1,1 * S_{o1} * l_{cb.1-2} = 6/20^2 + 1,1 * 38,969 * 10^{-6} * 50 = 0,015 + 0,00214 = 0,01714 (c/l)^2 * m,$$

$$S_{k2} = h_2 / q_2^2 + 1,1 * S_{o2} * l_{cb.2-1} = 6/20^2 + 1,1 * 38,969 * 10^{-6} * 100 = 0,015 + 0,00429 = 0,01929 (c/l)^2 * m,$$

$$S_{k3} = h_2 / q_3^2 = 6/20^2 = 0,015 (c/l)^2 * m.$$

Параметри аналітичної напірно-витратної характеристики насосу знаходимо виходячи з вихідних даних за формулами:

$$S_{\phi} = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2},$$

де Q_1 та Q_2 – межі витрат, в яких рекомендується використання насосу,

H_1 та H_2 – напори при подачі Q_1 та Q_2 відповідно.

$$S_{\phi} = \frac{50 - 30}{22,2^2 - 11,1^2} = 0,0541 (c/l)^2 * m.$$

$$H_{\phi} = H_1 + S_{\phi} * Q_1^2 = H_2 + S_{\phi} * Q_2^2 = 50 * 0,0541 * 11,1^2 = 56,7 \text{ м.}$$

За формулою (7) для свердловини №1 отримаємо:

$$q'_1 = \frac{-1/4,65 + \sqrt{(1/4,65)^2 + 4(56,7 - 17 - 2,0)(0,0541 + 0,01714 + 0,0015453)}}{2(0,0541 + 0,01714 + 0,0015453)} = 21,3 \text{ л/с,}$$

$$q'_2 = \frac{-1/4,54 + \sqrt{(1/4,54)^2 + 4(56,7 - 17 - 2,01)(0,0541 + 0,0192 + 0,0026309)}}{2(0,0541 + 0,0192 + 0,0026309)} = 20,9 \text{ л/с,}$$

$$q'_3 = \frac{-1/4,78 + \sqrt{(1/4,78)^2 + 4(56,7 - 17 - 1,64)(0,0541 + 0,015 + 0,0045793)}}{2(0,0541 + 0,015 + 0,0045793)} = 21,1 \text{ л/с.}$$

Таким чином, загальна витрата з трьох свердловин буде:

$$Q = q'_1 + q'_2 + q'_3 = 21,3 + 20,9 + 21,1 = 63,3 \text{ л/с} = 227,88 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Уточнена зрізка в свердловинах при їх взаємодії, виходячи з формули (6) буде:

– в першій свердловині:

$$\Delta h'_1 = \frac{21,3 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} * (2,15 + 1,49) = 2,13 \text{ м,}$$

– в другій свердловині:

$$\Delta h'_2 = \frac{20,9 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} * (2,15 + 1,50) = 2,10 \text{ м,}$$

– в третій свердловині:

$$\Delta h_3' = \frac{21,1 * 3,6 * 24}{2 * 3,14 * 500} * (1,49 + 1,50) = 1,74 \text{ м.}$$

Загальне зниження рівня води в кожній із свердловин буде дорівнювати

$$H_{1\partial} = 21.3 / 4.65 + 2.13 = 6.71 \text{ м,}$$

$$H_{2\partial} = 20.9 / 4.54 + 2.10 = 6.70 \text{ м,}$$

$$H_{3\partial} = 21.1 / 4.78 + 1.74 = 6.15 \text{ м.}$$

При збільшенні відбору води на 25% із свердловин витрата із однієї свердловини зросте до

$$20 * 1,25 = 20 \text{ л/с.}$$

Рахуючи в першому наближенні, що з кожної свердловини відбирається однакова витрата, а також лінійну залежність зрізки Δh_i від витрати, одержимо таке збільшення останніх в кожній свердловині:

$$\Delta h_1'' = 2.13 * 1.25 = 2.66 \text{ м,}$$

$$\Delta h_2'' = 2.10 * 1.25 = 2.62 \text{ м,}$$

$$\Delta h_3'' = 1.74 * 1.25 = 2.18 \text{ м.}$$

Загальне зниження рівня води в свердловинах зросте в середньому до таких величин:

$$H_{1\partial}' = 25 / 4.65 + 2.66 = 8.04 \text{ м,}$$

$$H_{2\partial}' = 25 / 4.54 + 2.62 = 8.13 \text{ м,}$$

$$H_{3\partial}' = 25 / 4.78 + 2.18 = 7.41 \text{ м.}$$

З врахуванням зростання витрати напір насосів в свердловинах повинен становити величину, яка визначається за формулою:

$$H_{pi} = H_{zi} + \frac{q_{pi}}{q_{inmu}} + \Delta h_i'' + \sum h_i = H_{zi} + H_{i\partial}' + \sum h_i,$$

де H_{zi} - геометрична висота підйому в і-ій свердловині, $H_{zi} = 17$ м,

q_{pi} - розрахункова витрата і-ої свердловини, $q_{pi} = 25$ л/с,

$\sum h_i$ - сумарні втрати напору при збільшеній витраті.

$$H_{p1} = 17 + 8.04 + S_{k1} * q_{p1}^2 + S_I * q_I = 25.04 + 0.01714 * 25^2 + 0.0001717 * (25 * 3)^2 = 37.72 \text{ м;}$$

$$H_{p2} = 17 + 8.13 + S_{k2} * q_{p2}^2 + S_I * 75^2 + S_{II} * 50^2 = 25.13 + 0.01929 * 25^2 + 0.0001717 * 75^2 + 0.0002714 * 50^2 = 38.83 \text{ м;}$$

$$H_{p3} = 17 + 7.41 + S_{k3} * q_{p3}^2 + S_I * 75^2 + S_{II} * 50^2 + S_{III} * 25^2 = 24.41 + 0.015 * 25^2 + 0.96 + 0.68 + 0.0019484 * 625 = 36.64 \text{ м.}$$

Отримані напори показують, що без заміни обладнання свердловин збільшити витрату водозабору неможливо.

Контрольні питання

1. Назвіть заходи до заходів щодо підвищення технологічної надійності водозабірних інженерних об'єктів.
2. Як визначається частота ушкоджень елементів мереж?
3. Яким чином контролюється якість очистки води на очисних спорудах?
4. Як оцінюється економічна ефективність роботи інженерних об'єктів водопостачання?
5. За якими показниками слід зупиняти водозабірний процес з підземного джерела на ремонтні роботи для заміни насосного обладнання?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2019).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www. http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:<http://eprints.kname.edu.ua.pdf>. (дата звернення: 29.01. 2020).

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_i	л/с	19	18	20	21	22	23	24	25	24	23
$K_{\phi m}$	$m^2/\text{добу}$	550	540	530	520	510	500	510	520	530	540
H_{Γ}	м	17	18	18	17	16	15	16	15	17	15
h_2	м	6,2	6,1	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3
l_1	м	320	350	360	370	380	390	380	365	355	340
l_2	м	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500
l_3	м	300	310	290	320	330	340	320	340	330	310
l_4	м	70	74	76	78	80	82	84	86	88	86
l_5	м	42	44	46	44	42	44	46	48	46	44
l_6	м	48	50	52	54	56	58	60	58	56	54
K_{ϕ}	м/добу	23	22	20	19	23	19	20	21	22	23
L	м	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
B	м	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
H_p	м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
v	мм/с	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1
u	мм/с	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
Q	1,5	1	2,5	2	4,5	3,5	1,5	7,5	2,5	6,5	3
n	200	200	300	180	190	200	270	240	250	260	220
Споруда	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р
V_{Π}	л	10	20	13	17	15	21	12	17	14	11
m_1	%	5	8	6	7	4	10	11	9	7	8
V_1	%	0,3	0,5	0,3	0,25	0,1	0,3	0,2	0,25	0,5	0,1
P_1	%	93	94	95	95	93	94	93	95	94	95
P_{nn}	%	93,5	92	93	94	95	96	90	91	92	93
V_n	m^3	6	7	5	4	3	7	3	8	5	3

$Q/_{\text{ст}}$	тис. м ³ /доб	2,0	2,2	1,9	1,7	3,8	3,5	2,5	4,7	5,2	6,0
$Q_{\text{макс}}$	м ³ /год	85	95	85	75	160	148	110	200	220	255
$C,$	мг/л	200	220	150	100	250	240	230	210	190	180
d	мкм	50	150	150	100	100	95	90	85	80	75
$\rho_{\text{ф}}$	кг/м ³	1500	1200	1300	1400	1600	1550	1280	1200	1230	1950
$\rho_{\text{р}}$	кг/м ³	1000	1000	1050	980	990	1000	1010	1020	1030	1035
$\mu, 10^3$	Па*с	2	1	1,5	1,8	1,9	1,5	5,4	3,8	1,6	2,5
α	град	45	50	55	60	46	51	56	61	47	49
$h_{\text{яр}}$	мм	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
δ	мм	3	3	3205	205	205	4	4	4	3,5	3,5
c	мг/л	1,5	1,0	1,3	1,8	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9	1,6
d	мг/л	10	6,7	8,7	12,1	13,4	11,4	9,4	8,0	5,8	10,7
a_a	мг/л	1,5	1,8	1,6	2,0	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4

$a_{\text{ц}}$	мг/л	4,9	5,2	5,3	5,4	4,6	4,8	4,7	5,0	5,1	5,2
$\Pi_{\text{р}}$	мг/л	115	120	125	110	112	118	124	128	119	116
$W_{\text{М}}$	97	96	98	97,5	96,5	97,5	97	96	98	97,5	$W_{\text{М}}$
$h_{\text{к}}$	м	0,9	0,95	1,1	1,05	1,2	1,3	1,2	1,15	1,1	1,0
l_7	м	1000	1050	1100	1200	1250	1300	1250	1200	1150	1100
$h_{\text{н}}$	м	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1
$h_{\text{е}}$	м	13	14	15	16	17	16	15	14	13	14
K	разів	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Z_1	м	92	89	86	81	79	97	100	105	110	115
Z_2	м	70	68	65	61	58	75	80	85	90	95
Z_3	м	82	79	75	71	67	91	96	101	106	111
Z_4	м	115	112	105	102	99	123	128	133	138	143
W_1	м ³	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
W_2	м ³	1,8	2,1	2,3	2,7	2,6	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1	МПа	0,25	0,27	0,30	0,35	0,37	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30
$H_{рез}$	м	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4
H_7	м	49	51	52	53	54	55	56	57	58	59
$S_{вс} \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$S_H \times 10^4$	(для Q в л/с)	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
Q_1	л/с	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Q_2	л/с	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$S_1 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8	2,2
$S_2 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3
ΔZ_1	м	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
ΔZ_2	м	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
$S_3 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
ΔH	м	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$S_4 \times 10^4$	(для Q в л/с)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$S_5 \times 10^4$	(для Q в л/с)	25	27	29	28	26	26	28	29	30	32
$Q_{1к}$	л/с	26	27	28	25	28	27	26	27	25	26
$Q_{2к}$	л/с	31	32	33	31	33	32	30	32	31	30
$Q_{3к}$	л/с	36	37	38	36	38	37	35	37	36	35
$Q_{4к}$	л/с	41	42	43	41	43	42	40	42	41	40
$Q_{5к}$	л/с	47	48	49	47	49	48	46	48	47	46

$H_{1κ}$	М	52	51	50	52	50	51	52	51	50	52
$H_{2κ}$	М	50,0	49,5	49	50	49	49,5	50	49,5	50	50
$H_{3κ}$	М	48	47,5	47,5	48	47,5	47,5	48	47,5	48	48
$H_{4κ}$	М	46	46	45,5	46	45,5	46	46,5	46	46	46,5
$H_{5κ}$	М	44	44	43,5	44	43,5	44	44	44	44	44
$H_{6ακ}$	М	3	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0

q_1	л/с	4	5	4	3	1	2	1	3	1	3
ϕ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
n_0	шт	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2
L	м	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
ϕ_2	разів	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,2
l_4	м	140	160	170	130	120	140	150	160	170	180
q_2	л/с	10	9	8	7	6	5	7	9	8	5
n_1	разів	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
m_1	шт.	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
W_{oc}	м ³	650	910	1300	700	1100	1200	750	1300	1500	1000
D_k	мг/л	100	90	80	100	95	85	95	75	65	70
$Q_{ст}$	м ³ /добу	20000	25000	22000	26000	28000	35000	40000	41000	50000	45000
$W_1, \%$	96,5	96,3	97	97,2	97,3	97,7	98	98,2	96,5	96,6	96,8
$X, \%$	50	45	55	40	60	65	45	55	50	45	60
$C, \text{г/л}$	1.5	1.0	1.2	1.5	1.1	1.4	2	1.2	1.5	1.3	1.5
$A_1, \%$	90	91	93	95	90,5	91,5	92	92,5	93	93,5	94
$A_2, \%$	40	42	44	42	40,5	41,5	42	42,5	43	43,5	44
$D_1, \%$	3,4	3,5	3,2	3,3	3,1	3	2,9	3,6	3	3,7	3,1
$D_2, \%$	11	12	10	10,5	11,5	12,5	10	1	11	11,5	12,5

Практичне заняття №2

Тема заняття: Аналіз роботи водозабірних інженерних об'єктів

Питання для перевірки засвоєння і контролю теоретичного матеріалу:

- Сутність задач удосконалення водозаборів з підземних джерел?
- Які проблеми виникають при намаганні збільшити продуктивність водозабору, який існує?
- Як враховується взаємний вплив свердловин при визначенні їх продуктивності?
- Суть методів відновлення продуктивності свердловин, які експлуатуються

Мета заняття-набути навички виконання аналізу роботи водозабірних інженерних об'єктів з підземних джерел та виконання розрахунків гідравлічних режимів їх роботи.

Сучасні системи водопостачання мають нестабільні характеристики. Ця нестабільність пов'язана з динамікою роботи системи, яка визначається характером водорозбору на протязі доби, що залежить від особливостей життя і праці населення міста. З однієї сторони вона визначається тенденцією концентрації населення в містах, яка приводить до росту водоспоживання і зміни структури водорозподільчої мережі, з другої сторони - особливостями формування і розвитку промислового виробництва, з третьої - нестабільністю в часі характеристик окремих елементів систем водопостачання (зменшення пропускної можливості мереж і водоводів як наслідок корозії в них, зміни характеристики насосів як наслідок їх зносу і т.д.)

Загальна задача удосконалення роботи системи зводиться до визначення і реалізації заходів, які можливості системи водопостачання приводять у відповідність до вимогам споживачів. Розв'язування цієї задачі досягається розв'язуванням наступних приватних завдань:

- збільшення пропускної можливості мережі;
- перерозподіл потоків в мережі;
- зонування мережі;
- збільшення продуктивності головних споруд систем водопостачання (водозаборів, насосних станцій I і II підйомів, очисних споруд);
- заміна технологічного і механічного обладнання для збільшення продуктивності;
- заміна морально застарілого обладнання.

Задача.

Перевірити можливість збільшення на $p\%$ забору води із трьох свердловин (рис.3), з яких вода за допомогою сифонного водопроводу подається в збірний колодезь. Із збірного колодезя вода збирається насосом марки К 160/30, який при подачі $112 \div 198 \text{ м}^3/\text{год}$ ($31,1 \div 55 \text{ л/с}$) розвиває напір $36,5 \div 28 \text{ м}$. Водозабір характеризується такими даними:

- глибина шару води в пласті від водонепроникного шару до статичного рівня води $h_e \text{ м}$;
- коефіцієнт фільтрації $K_f \text{ м/добу}$;
- радіус впливу $R=l_1 \text{ м}$;
- радіус свердловини $r = 0.2 \text{ м}$;
- відстань між свердловинами $l_3 \text{ м}$;
- водоносний шар – ізольований і необмежений;
- втрати напору в комунікаціях свердловини $h_k \text{ м}$;
- геометрична висота підйому води 18 м ;
- довжина одного напірного водогону $l_7 \text{ м}$;
- кількість напірних водогонів – 2;
- втрати напору в комунікаціях напірної станції $h_n \text{ м}$;
- питомий опір водогону $S_{ов} = 0,000006785 \text{ (с/л)}^2 \cdot \text{м}$.

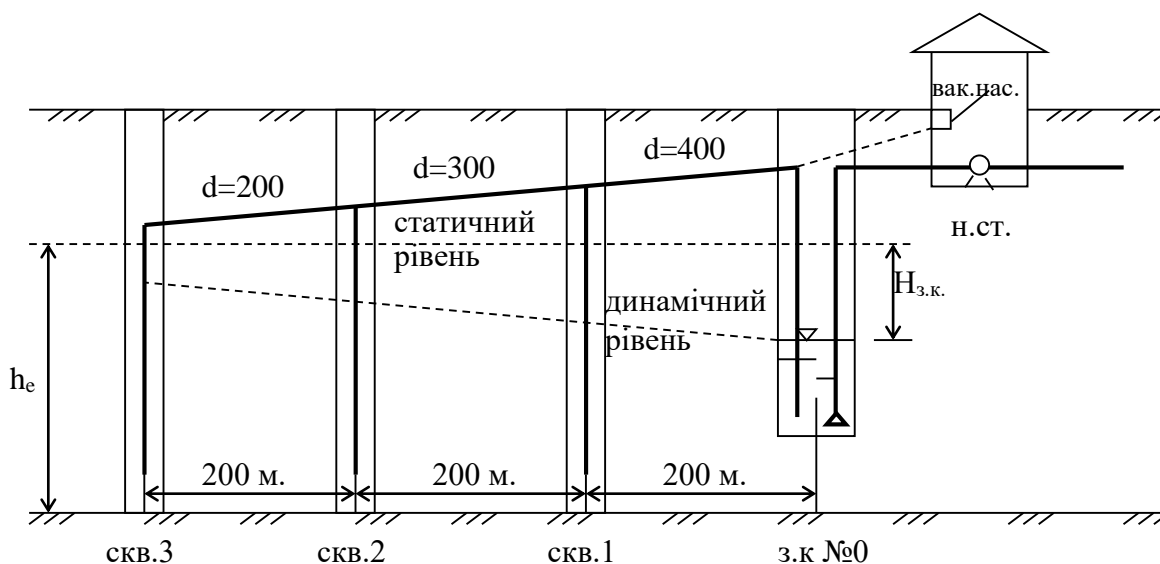


Рисунок 3. – Схема водозабору

Розв'язування типової задачі.

Нехай вихідні дані для задачі будуть: $p = 30\%$, $h_e = 14 \text{ м}$,
 $K_f = 25 \text{ м/добу}$, $R = 300 \text{ м}$, $l_7 = 200 \text{ м}$, $h_k = 1 \text{ м}$, $l_8 = 1200 \text{ м}$, $h_n = 3 \text{ м}$.

Визначимо середній дебіт однієї свердловини. Прийемо середню подачу насоса рівною:

$$Q_n = \sum q_i = 170 \text{ м}^3 / \text{год} = 47,2 \text{ л} / \text{с}.$$

Тоді середній дебіт однієї свердловини буде:

$$q_1 = 47,2 / 3 = 15,7 \text{ л} / \text{с}.$$

Знайдемо параметри аналітичної характеристики насоса H_ϕ та S_ϕ :

$$S_\phi = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2} = \frac{36,5 - 28}{55^2 - 31,1^2} = 0,00413 (\text{с} / \text{л})^2 * \text{м},$$

$$H_\phi = H_1 + S_\phi * Q_1^2 = H_2 + S_\phi * Q_2^2 = 36,5 + 0,00413 * 31,1^2 = 40,5 \text{ м}.$$

Визначити зниження рівня води в свердловинах з врахуванням їх взаємодії і збільшення витрат на $p\%$.

$$h_i = h_e - \sqrt{h_e^2 - \sum_1^n \frac{100 + p}{100} q_i N_{ij}} / (\pi * K_\phi),$$

де q_i – дебіт свердловини в $\text{м}^3/\text{добу}$;

N_{ij} – гідравлічний опір для кожної свердловини з врахуванням взаємодії.

Для однієї свердловини:

$$N_0 = \ln \frac{1,65 * R}{r},$$

де R – радіус впливу, $R = 300 \text{ м}$,

r – радіус свердловини, $r = 0,2 \text{ м}$.

$$N_0 = \ln \frac{1,65 * 300}{0,2} = 7,81.$$

Для свердловини №1 при її взаємодії із свердловиною №2:

$$N_{1-2} = \ln \frac{R}{l_{1-2}} = \ln \frac{300}{200} = 0,41.$$

При взаємодії першої свердловини із третьою:

$$N_{1-3} = \ln \frac{R}{l_{1-3}} = \ln \frac{300}{400} = -0,29.$$

Для свердловини №2 при її взаємодії із першою свердловиною:

$$N_{2-1} = N_{1-2} = 0,41.$$

При взаємодії другої і третьої свердловини:

$$N_{2-3} = N_{2-1} = 0,41.$$

При взаємодії третьої і другої свердловини:

$$N_{3-2} = N_{2-3} = 0,41.$$

При взаємодії третьої і першої свердловини:

$$N_{3-1} = N_{1-3} = -0,29.$$

Зниження рівня в першій і третій свердловинах буде:

$$h_1 = h_3 = 14 - \sqrt{14^2 - 1,3 \frac{15,7 * 3,6 * 24}{3,14 * 25} (7,81 + 0,41 - 0,29)} = 9,77 \text{ м},$$

в другій свердловині:

$$h_2 = 14 - \sqrt{14^2 - 1.3 \frac{15.7 * 3.6 * 24}{3.14 * 25} (7.81 + 0.41 + 0.41)} = 12,54 \text{ м.}$$

Ці зниження в свердловинах не дозволяють просто збільшити відбір з них на 30% тому, що величина їх перебільшує навіть теоретично можливе зниження (на 10м).

Перевіримо, яка повинна бути глибина води в збірному колодязі при збільшенні відбору води на 30%.

$$H_{зк} = H_{\phi} - H_{Г} - (S_{\phi} + S_{кн} + S_{\epsilon}) * Q^2,$$

де $H_{Г}$ - геометрична висота підйому, $H_{Г} = 18$ м,

$S_{кн}$ – опір комунікацій насосної станції.

$$S_{кн} = h_k / Q^2 = 3 / (\sum q_i)^2 = 3 / (47.3)^2 = 0.001347 (c / л)^2 * м;$$

S_{ϵ} – опір водогонів

$$S_{\epsilon} = \frac{S_{ов} * l_7}{n^2},$$

n – кількість водогонів, n = 2.

$$S_{\epsilon} = \frac{0,000006785 * 1200}{4} = 0,0020355 (c / л)^2 * м.$$

Q – подача насосної станції з врахуванням її збільшення

$$Q = 1.3 * \sum_1^3 q_i = 1.3 * 47.2 = 61.36 \text{ л / с.}$$

Тоді

$$H_{з.к.} = 40,5 - 18 - (0,00413 + 0,001347 + 0,0020355) * 61,36^2 = -5,8 \text{ м.}$$

Таким чином, збільшення відбору води на 30 % неможливе.

Контрольні питання

1. Назвіть заходи до заходів щодо підвищення технологічної надійності водозабірних інженерних об'єктів.
2. Як визначається частота ушкоджень елементів мереж?
3. Яким чином контролюється якість очистки води на очисних спорудах?
4. Як оцінюється економічна ефективність роботи інженерних об'єктів водопостачання?
5. За якими показниками слід зупиняти водозабірний процес з підземного джерела на ремонтні роботи для заміни насосного обладнання?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2019).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www. http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:<http://eprints.kname.edu.ua.pdf>. (дата звернення: 29.01. 2020).

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_i	л/с	19	18	20	21	22	23	24	25	24	23
$K_{\phi m}$	$m^2/\text{добу}$	550	540	530	520	510	500	510	520	530	540
H_{Γ}	м	17	18	18	17	16	15	16	15	17	15
h_2	м	6,2	6,1	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3
l_1	м	320	350	360	370	380	390	380	365	355	340
l_2	м	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500
l_3	м	300	310	290	320	330	340	320	340	330	310
l_4	м	70	74	76	78	80	82	84	86	88	86
l_5	м	42	44	46	44	42	44	46	48	46	44
l_6	м	48	50	52	54	56	58	60	58	56	54
K_{ϕ}	$m/\text{добу}$	23	22	20	19	23	19	20	21	22	23
L	м	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
B	м	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
H_p	м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
v	mm/c	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1
u	mm/c	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
Q	1,5	1	2,5	2	4,5	3,5	1,5	7,5	2,5	6,5	3
n	200	200	300	180	190	200	270	240	250	260	220
Споруда	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р
V_{Π}	л	10	20	13	17	15	21	12	17	14	11
m_1	%	5	8	6	7	4	10	11	9	7	8
V_1	%	0,3	0,5	0,3	0,25	0,1	0,3	0,2	0,25	0,5	0,1
P_1	%	93	94	95	95	93	94	93	95	94	95
P_{nn}	%	93,5	92	93	94	95	96	90	91	92	93
V_n	m^3	6	7	5	4	3	7	3	8	5	3

$Q/_{\text{ст}}$	тис. м ³ /доб	2,0	2,2	1,9	1,7	3,8	3,5	2,5	4,7	5,2	6,0
$q_{\text{макс}}$	м ³ /год	85	95	85	75	160	148	110	200	220	255
$C,$	мг/л	200	220	150	100	250	240	230	210	190	180
d	мкм	50	150	150	100	100	95	90	85	80	75
$\rho_{\text{ф}}$	кг/м ³	1500	1200	1300	1400	1600	1550	1280	1200	1230	1950
$\rho_{\text{р}}$	кг/м ³	1000	1000	1050	980	990	1000	1010	1020	1030	1035
$\mu, 10^3$	Па*с	2	1	1,5	1,8	1,9	1,5	5,4	3,8	1,6	2,5
α	град	45	50	55	60	46	51	56	61	47	49
$h_{\text{яр}}$	мм	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
δ	мм	3	3	3205	205	205	4	4	4	3,5	3,5
c	мг/л	1,5	1,0	1,3	1,8	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9	1,6
d	мг/л	10	6,7	8,7	12,1	13,4	11,4	9,4	8,0	5,8	10,7
a_a	мг/л	1,5	1,8	1,6	2,0	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4

$a_{\text{ц}}$	мг/л	4,9	5,2	5,3	5,4	4,6	4,8	4,7	5,0	5,1	5,2
$\Pi_{\text{р}}$	мг/л	115	120	125	110	112	118	124	128	119	116
$W_{\text{М}}$	97	96	98	97,5	96,5	97,5	97	96	98	97,5	$W_{\text{М}}$
$h_{\text{к}}$	м	0,9	0,95	1,1	1,05	1,2	1,3	1,2	1,15	1,1	1,0
l_7	м	1000	1050	1100	1200	1250	1300	1250	1200	1150	1100
$h_{\text{н}}$	м	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1
$h_{\text{е}}$	м	13	14	15	16	17	16	15	14	13	14
K	разів	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Z_1	м	92	89	86	81	79	97	100	105	110	115
Z_2	м	70	68	65	61	58	75	80	85	90	95
Z_3	м	82	79	75	71	67	91	96	101	106	111
Z_4	м	115	112	105	102	99	123	128	133	138	143
W_1	м ³	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
W_2	м ³	1,8	2,1	2,3	2,7	2,6	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1	МПа	0,25	0,27	0,30	0,35	0,37	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30
$H_{рез}$	м	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4
H_7	м	49	51	52	53	54	55	56	57	58	59
$S_{вс} \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$S_H \times 10^4$	(для Q в л/с)	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
Q_1	л/с	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Q_2	л/с	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$S_1 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8	2,2
$S_2 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3
ΔZ_1	м	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
ΔZ_2	м	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
$S_3 \times 10^4$	(для Q в л/с)	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
ΔH	м	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$S_4 \times 10^4$	(для Q в л/с)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$S_5 \times 10^4$	(для Q в л/с)	25	27	29	28	26	26	28	29	30	32
$Q_{1к}$	л/с	26	27	28	25	28	27	26	27	25	26
$Q_{2к}$	л/с	31	32	33	31	33	32	30	32	31	30
$Q_{3к}$	л/с	36	37	38	36	38	37	35	37	36	35
$Q_{4к}$	л/с	41	42	43	41	43	42	40	42	41	40
$Q_{5к}$	л/с	47	48	49	47	49	48	46	48	47	46

$H_{1κ}$	М	52	51	50	52	50	51	52	51	50	52
$H_{2κ}$	М	50,0	49,5	49	50	49	49,5	50	49,5	50	50
$H_{3κ}$	М	48	47,5	47,5	48	47,5	47,5	48	47,5	48	48
$H_{4κ}$	М	46	46	45,5	46	45,5	46	46,5	46	46	46,5
$H_{5κ}$	М	44	44	43,5	44	43,5	44	44	44	44	44
$H_{6ακ}$	М	3	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0

q_1	л/с	4	5	4	3	1	2	1	3	1	3
ϕ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
n_0	шт	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2
L	м	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
ϕ_2	разів	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,2
l_4	м	140	160	170	130	120	140	150	160	170	180
q_2	л/с	10	9	8	7	6	5	7	9	8	5
n_1	разів	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
m_1	шт.	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
W_{oc}	м ³	650	910	1300	700	1100	1200	750	1300	1500	1000
D_k	мг/л	100	90	80	100	95	85	95	75	65	70
$Q_{ст}$	м ³ /добу	20000	25000	22000	26000	28000	35000	40000	41000	50000	45000
$W_1, \%$	96,5	96,3	97	97,2	97,3	97,7	98	98,2	96,5	96,6	96,8
$X, \%$	50	45	55	40	60	65	45	55	50	45	60
$C, \text{г/л}$	1.5	1.0	1.2	1.5	1.1	1.4	2	1.2	1.5	1.3	1.5
$A_1, \%$	90	91	93	95	90,5	91,5	92	92,5	93	93,5	94
$A_2, \%$	40	42	44	42	40,5	41,5	42	42,5	43	43,5	44
$D_1, \%$	3,4	3,5	3,2	3,3	3,1	3	2,9	3,6	3	3,7	3,1
$D_2, \%$	11	12	10	10,5	11,5	12,5	10	1	11	11,5	12,5

Практичне заняття 3

Тема заняття: Розрахунок режимів промивки самопливних і сифонних ліній

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Чим відрізняється промивка зворотним током води від промивки прямим током води?
- Як видаляється повітря з сифонної лінії?
- З якою метою при зворотній промивці самопливних і сифонних ліній в береговому колодязі встановлюють напірну колону?
- Що таке гідроімпульсна промивка і як вона організується?

Мета заняття - набути навички виконання аналізу роботи самопливних і сифонних ліній на водозабірних інженерних об'єктах.

Задача №1. Визначити мінімальну швидкість води в самопливній лінії при її промивці для того, щоб з труби діаметром **D** вимити частинки діаметром **d**. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Задача №2. Розрахувати і побудувати графік залежності необхідної витрати води при промивці самопливної лінії **Q** для вимиву частинок діаметром **d** з трубопроводу діаметром **D**, тобто **Q=f(d)** при **D=const**. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №2

Щоб побудувати графік залежності **Q=f(d)** необхідно скласти таблицю за формою табл.2.

Таблиця 1 - Розрахунок залежності **Q=f(d)**

Середньозважений діаметр частинок наносів, які промиваються, d ×10 ⁴ м	0.5	1	5	10	20
Розрахункова швидкість води, м/с					
Витрата води, м ³ /с					

Для спрощення розрахунку таблиці залежність необхідної швидкості води для вимивання частинок наносів діаметром **d** з труби діаметром **D** доцільно представити в вигляді

$$v = 7.5 (D d)^{0.25} = 7.5 D^{0.25} d^{0.25} = C_1 d^{0.25},$$

де $C_1=7.5D^{0.25}$ - постійна величина для діаметра, який розглядається.

Формулу, яка пов'язує витрату і швидкість води, також доцільно представити у вигляді

$$Q=v \frac{\pi D^2}{4} = C_2 v$$

де $C_2= \frac{\pi D^2}{4}$ - постійна величина для діаметра, який розглядається.

Графік $Q=f(d)$ дозволяє оцінити, які частини наносів можна вимити з самопливної лінії при тій витраті води, що її може забезпечити насосна станція I підйому.

Задача №3. Визначити швидкість руху води в самопливній лінії на початку і в кінці її прямої промивки. Самопливна лінія характеризується діаметром D , довжиною L , з питомим опором S_c і сумою коефіцієнтів місцевих опорів $\sum \xi=7$. Продуктивність водозабору q_p . Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №3

При прямій промивці спочатку закривається одна із самопливних ліній, а вся витрата подається у вхідну камеру по другій лінії. При цьому збільшення втрат напору в самопливній лінії призводить до зниження рівня води у вхідній камері. Після цього відкривається закрита лінія, і рівень води у вхідній камері підіймається до рівня, який підтримується при нормальній роботі. За рахунок збільшеної витрати осад з самопливних ліній вимивається у вхідну камеру. Таким чином, найменша швидкість в самопливній лінії буде спостерігатися при нормальній роботі водозабору.

$$v_{\min} = \frac{q_p}{2 \pi D^2} = \frac{q_p}{\pi D^2}$$

Втрати напору в самопливній лінії при пропусканні по ній повної витрати визначаються за формулою

$$h = S_c L q_p^2 + \sum \xi \frac{v^2}{2g} = S_c L q_p^2 + \sum \xi \frac{2q_p^2}{g \pi D^2}$$

При цьому швидкість в самопливній лінії, яка працює, буде рівною

$$v = 2 v_{\min}$$

Після відкривання закритої самопливної лінії по кожній з них буде проходити повна витрата q_p тому, що вона буде визиватися різницею рівнів в джерелі і в вхідній камері, яка дорівнює h . Таким чином, при прямій промивці у вхідну камеру спочатку почне надходити витрата $2q_p$ зі

зменшенням її в кінці промивки до величини q_p . Тоді максимальна швидкість води в самопливних лініях при прямій промивці буде рівною $2v_{\min}$.

Задача №4. Для умов задачі №40 розрахувати і побудувати графік зміни витрати води, яка надходить з джерела по одній із самопливних ліній до вхідної камери водозабору на протязі прямої промивки.

Вказівки до розв'язування задачі №4

За термін прямої промивки витрата по кожній з самопливних ліній зменшується від витрати q_p до витрати $q_p/2$. Графік зміни цієї витрати можна побудувати на основі формули сумарних втрат напору в самопливній лінії, представивши її у вигляді $q_i=f(h_i)$, тобто

$$S_c L q_i^2 + \sum \xi \frac{2q_i}{g \pi D^2} - h_i = 0$$

або

$$q_i^2 + \sum \xi \frac{2q_i}{g \pi D^2 S_c L} - \frac{1}{S_c L} h_i = 0.$$

звідки

$$q_i = -\frac{\sum \xi}{g \pi D^2 S_c L} \pm \sqrt{\left(\frac{\sum \xi}{g \pi D^2 S_c L}\right)^2 + \frac{h_i}{S_c L}} = -a \pm \sqrt{a^2 + b h_i}.$$

$$a = \frac{\sum \xi}{g \pi D^2 S_c L}$$

де a - постійна величина для тієї самопливної лінії, яка

розглядається;

$$b = \frac{1}{S_c L}$$

- постійна величина для тієї ж самопливної лінії.

Для побудови графіка доцільно, задаючись величинами h_i , визначити витрати q_i . Розрахунки зводяться в таблицю 3. Величини повинні охоплювати діапазон змін втрат напору при витратах від q_p до $q_p/2$.

Таблиця 2 - Розрахунок залежності $q_i=f(h_i)$ при $D=\text{const}$, $L=\text{const}$

Втрати напору в самопливній лінії, м	h_1	h_2	...	h_n
Витрата по самопливній лінії, м ³ /с	q_1	q_2	...	q_n

Задача №5. Визначити, яка швидкість руху води буде в самопливному трубопроводі на початку його промивки гідроімпульсним способом зворотним током води. Висота напірної колони H_k , діаметр самопливної лінії D , довжина L , питомий опір S_c , сума коефіцієнтів місцевого опору $\sum \xi = 6$, вихід води з оголовку знаходиться нижче рівня води в джерелі на $1m$, а низ колони - на рівні води в джерелі. Чисельні значення величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №5

Швидкість руху води в трубопроводі на початку його промивки буде визначатися витратою води в ньому. Остання пов'язана з втратами напору в самопливному трубопроводі і описується залежністю, яка розглянута в задачі №41. При цьому максимальні втрати напору дорівнюють

$$h_c = H_k \pm \Delta Z - h_{вих},$$

де ΔZ - різниця між рівнем води в джерелі і низом напірної колони, $\Delta Z = 0$ (за умовами задачі);

$h_{вих}$ - занурення виходу води з оголовку під рівень води в джерелі.

Виходячи з максимальних втрат напору h_c , обчислити $q_{i \text{ макс}}$, а потім $v_{\text{макс}}$ за формулою

$$v_{\text{макс}} = \frac{4 q_{i \text{ макс}}}{\pi D^2}.$$

Вихідні дані для розв'язування задач

Показник		Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d	мм	0,003	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9
q_p	тис. м ³ /год.	2,7	1,2	3,0	1,3	3,2	3,5	1,0	1,5	4,0	3,6
D	м	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,5	0,6	1,0	0,9
L	км	0,6	0,5	0,4	0,45	0,55	0,65	0,35	0,65	0,7	0,75
S_c×10³	для Q в м ³ /с	5,514	22,62	10,98	22,62	5,514	2,962	57,84	22,62	1,699	2,962
H_к	м	7	6	8	6,7	7,8	7	8	8	6,5	6
Q	м ³ /добу	200	200	135	147	300	100	119,6	220	126	270

Контрольні питання

1. Які методи застосовують для діагностики та дослідження свердловин?
2. З якою метою застосовують метод гелієвої зйомки водоносних горизонтів?
3. За рахунок чого можна покращити техніко-економічні показники роботи інженерних об'єктів водопостачання?
4. Для чого застосовують хлорування при підготовці питної води?
5. З якою метою застосовують реагентні методи обробки свердловин?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2019).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www.http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).

3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua](http://eprints.kname.edu.ua). pdf. (дата звернення: 29.01. 2020).

Практичні заняття 4-5

Тема заняття: Техніко-економічна оцінка реконструкції об'єктів водопостачання

Питання для перевірки засвоєння і контролю теоретичного матеріалу:

- В чому зміст загальної задачі реконструкції?
- Якими шляхами розв'язується загальна задача реконструкції?
- В чому головний зміст кожного окремого шляху розв'язування загальної задачі реконструкції?
- Якими економічними показниками характеризується кожний варіант реконструкції системи водопостачання?
- Що таке приведені витрати і як вони визначаються?
- Що таке термін окупності і як його визначити?
- Як визначається найбільш економічний варіант реконструкції?

Мета заняття – набути навички виконання аналізу економічних показників роботи інженерних об'єктів в системі водопостачання будівель.

Задача №1.

При розробці проекту системи водопостачання було розглянуто три варіанти з економічними показниками, які наведено в табл.1.

Таблиця 1 - Економічні показники варіантів, що розглядаються

Номер варіанту	Види витрат, тис. грн.	
	капітальні	експлуатаційні
I	K_1	E_1
II	K_2	E_2
III	K_3	E_3

Визначити, який з трьох варіантів, що порівнюються є самим оптимальним і знайти можливі річні економічні ефекти і фактичні терміни окупності.

Чисельні величини показників прийняти за останньою цифрою залікової книжки згідно з додатком А.

Розв'язування типової задачі.

Дано: $K_1 = 4800$ тис. грн., $K_2 = 2980$ тис. грн., $K_3 = 3700$ тис. грн.,

$E_1 = 456,2$ тис. грн., $E_2 = 606,4$ тис. грн., $E_3 = 570$ тис. грн.

Для співставлення між собою всіх варіантів необхідно визначити приведені витрати для кожного з варіантів, виходячи з нормативного терміну окупності при коефіцієнті порівняльної ефективності $E = 0,14$.

$$П_i = E * K_i + E_i ,$$

де K_i – капітальні витрати для i – го варіанту,

E_i – експлуатаційні витрати для i – го варіанту.

Тоді:

$$\Pi_1 = 0,14 \cdot 4800 + 456,9 = 1128,9 \text{ тис. грн.},$$

$$\Pi_2 = 0,14 \cdot 2980 + 606,4 = 1023,6 \text{ тис. грн.},$$

$$\Pi_3 = 0,14 \cdot 3700 + 570 = 1088 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, при нормативному термінові окупності найбільш економічним буде другий варіант, тому що у нього приведені витрати мінімальні. При цьому річні економічні ефекти можуть бути такими:

– другий варіант в порівнянні з першим дає економію:

$$\Delta\Pi_{1-2} = \Pi_1 - \Pi_2 = 1128,9 - 1023,6 = 105,3 \text{ тис. грн./ рік},$$

– другий варіант в порівнянні з третім дає економію

$$\Delta\Pi_{2-3} = \Pi_3 - \Pi_2 = 1088 - 1023,6 = 64,6 \text{ тис. грн. /рік},$$

– третій варіант в порівнянні з першим може дати економію:

$$\Delta\Pi_{1-3} = \Pi_1 - \Pi_3 = 1128,9 - 1088 = 40,9 \text{ тис. грн. / рік}.$$

Задача №2.

Для умов попередньої задачі №1 визначити, які витрати треба зменшити і наскільки, щоб вкластися в нормативний термін окупності (7 років), якщо структура витрат характеризується даними, які наведені в табл. 2 і 3. Чисельні величини показників прийняти згідно з додатком А.

Таблиця 2 - Структура капітальних витрат за варіантами (у % від повної вартості)

Номер варіанту	Вартість будівель	Вартість механічного обладнання	Вартість гідравлічного обладнання і установок
I	B_1	M_1	Γ_1
II	B_2	M_2	Γ_2
III	B_3	M_3	Γ_3

Таблиця 3 - Структура експлуатаційних витрат за варіантами (у % від експлуатаційних витрат)

Номер варіанту	Заробітна плата	Реагенти і матеріали	Енергія	Інші
I	Z_1	P_1	E_{H1}	I_1
II	Z_2	P_2	E_{H2}	I_2
III	Z_3	P_3	E_{H3}	I_3

Розв'язування типової задачі.

Нехай варіанти, що порівнюються, характеризуються даними, що наведені в табл. 1, 4 і 5.

Таблиця 4 - Структура капітальних витрат за варіантами (у % від повної вартості)

Номер варіанту	Вартість будівель	Вартість механічного обладнання	Вартість гідравлічного обладнання і установок
I	60	10	30
II	40	30	30
III	50	35	15

Таблиця 5 - Структура експлуатаційних витрат за варіантами (у % від експлуатаційних витрат)

Номер варіанту	Заробітна плата	Реагенти і матеріали	Енергія	Інші
I	25	37	30	8
II	30	14	50	6
III	35	18	40	7

Згідно з результатами розв'язування попередньої задачі кращим варіантом є другий варіант. Для того, щоб вкластися в нормативний термін окупності треба скорегувати відповідно витрати.

Розглянемо вираз для терміну окупності:

$$t = \frac{K_2 - K_1}{E_1 - E_2} = \frac{\Delta K}{\Delta E}, \quad (1)$$

де ΔK – різниця капітальних витрат за варіантами,

ΔE – різниця експлуатаційних витрат за варіантами.

З цієї формули знаходимо, що при заданому терміні окупності t необхідне рішення можна отримати двома способами:

– зміною різниці капітальних витрат до величини:

$$\Delta K = \Delta E * t \quad (2)$$

при збереженні експлуатаційних витрат в варіантах, що порівнюються.

– зміною різниці експлуатаційних витрат до величини:

$$\Delta E = \Delta K / t \quad (3)$$

при збереженні капітальних витрат в варіантах, що порівнюються.

Виходячи з рівняння (2), різниця капітальних витрат при порівнянні між собою першого і другого варіантів повинна дорівнювати:

$$\Delta K_1 = (E_2 - E_1) * t = (606,4 - 456,9) * 7 = 1046,5 \text{ тис. грн.}$$

Якщо порівнювати другий і третій варіанти, то:

$$\Delta K_2 = (E_2 - E_3) * t = (606,4 - 570,0) * 7 = 254,8 \text{ тис. грн.}$$

При порівнянні третього і першого варіантів:

$$\Delta K_3 = (E_3 - E_1) * t = (570,0 - 456,9) * 7 = 791,7 \text{ тис. грн.}$$

Отримати таку різницю в капітальних витратах за варіантами можливо такими способами:

- збільшити капітальні витрати у кращого варіанта,
- зменшити капітальні витрати у гіршого варіанта.

Перший спосіб формальний, а не економічний, і він в даному випадку не може розглядатися.

При другому способі капітальні витрати у гірших варіантів мають стати такими:

а) при співставленні першого і другого варіантів, капітальні витрати у першого варіанта повинні бути:

$$K_1' = K_2 + \Delta K_1 = 2980 + 1046,5 = 4026,5 \text{ тис.грн.}$$

б) при співставленні другого і третього варіантів, капітальні витрати для третього варіанта повинні бути:

$$K_3' = K_2 + \Delta K_2 = 2980 + 254,8 = 3234,8 \text{ тис.грн.}$$

в) при співставленні першого і третього варіантів, капітальні витрати для першого варіанта повинні бути:

$$K_1'' = K_3 + \Delta K_3 = 3700 + 791,7 = 4491,7 \text{ тис.грн.}$$

Розглянемо, як зміняться приведені витрати, при зменшенні капітальних витрат у гірших варіантів.

Величина приведених витрат для першого варіанта залежить від того, з яким варіантом він порівнювався. Так, коли він порівнюється з другим варіантом

$$\Pi_1' = 456,9 + 0,14 * 4026,5 = 1020,61 \text{ тис.грн.,}$$

а при порівнюванні його з третім варіантом:

$$\Pi_1'' = 456,9 + 0,14 * 4491,7 = 1085,74 \text{ тис.грн.}$$

Для тих умов, які розглядаються, величина приведених витрат для другого варіанта залишається без змін, тобто

$$\Pi_2 = 1023 \text{ тис. грн.}$$

Для третього варіанта при його співставленні з другим приведені витрати стануть рівними

$$\Pi_3' = 570 + 0,14 * 3234,8 = 1022,87 \text{ тис.грн.}$$

Порівняльний аналіз нових приведених витрат показує, якщо зменшити для окремих варіантів капітальні витрати, то при цьому змінюється також і оптимальний варіант: замість другого оптимальним стане перший варіант. Це стане можливим тільки при зменшенні капітальних витрат для першого варіанта відносно вихідного на

$$\frac{K_1 - K_1'}{K_1} * 100 = \frac{4800 - 4026,5}{4800} * 100 = 16,1\%$$

Аналізуючи структуру капітальних витрат (табл.4) бачимо, що основна доля в них – це вартість будівель, а також гідравлічного обладнання і установок. Тому, якщо їх вартість зменшити на 16,1% , потрібний ефект буде досягнуто.

Розглянемо тепер, як зменшити термін окупності шляхом зміни експлуатаційних витрат, при якому зростає знаменник у формулі (1). Визначимо, якою повинна стати різниця експлуатаційних витрат в варіантах,

що порівнюються, для того, щоб термін окупності і дорівнював нормативному при умові збереження початкових капітальних витрат.

При співставленні першого і другого варіантів різниця експлуатаційних витрат повинна бути рівною

$$\Delta E_1 = (K_1 - K_2)/t = (4800 - 2980)/7 = 260 \text{ тис.грн.}$$

При співставленні другого і третього варіантів:

$$\Delta E_2 = (K_3 - K_2)/t = (3700 - 2980)/7 = 102,8 \text{ тис.грн.}$$

При співставленні першого і третього варіантів:

$$\Delta E_3 = (K_1 - K_3)/t = (4800 - 3700)/7 = 157,1 \text{ тис.грн.}$$

Одержати такі зміни експлуатаційних витрат можна двома способами:

- збільшенням експлуатаційних витрат у кращого варіанта,
- зменшенням експлуатаційних витрат у гіршого варіанта.

Перший спосіб з позицій економіки не має сенсу, при другому способі експлуатаційні витрати у гірших варіантів повинні стати такими:

а) при співставленні першого і другого варіантів експлуатаційні витрати у першого варіанта повинні стати рівними:

$$E_1' = E_2 - \Delta E_1 = 606,4 - 260 = 346,4 \text{ тис.грн.};$$

б) при співставленні другого і третього варіантів експлуатаційні витрати у третього варіанта повинні стати рівними:

$$E_3' = E_2 - \Delta E_2 = 606,4 - 102,8 = 503,6 \text{ тис.грн.};$$

в) при співставленні першого і третього варіантів експлуатаційні витрати у третього варіанта повинні стати рівними:

$$E_3'' = E_3 - \Delta E_3 = 570 - 157,1 = 412,9 \text{ тис.грн.}$$

Розглянемо, як зміняться приведені витрати при зменшенні експлуатаційних витрат у гірших варіантів.

Величина приведених витрат для першого варіанта, коли він порівнювався з другим могла би стати:

$$\Pi_{1 \text{ ек.}}' = 346,4 + 0,14 * 4800 = 1018,4 \text{ тис.грн.},$$

а при порівнянні його з третім варіантом:

$$\Pi_{1 \text{ ек.}}'' = 412,9 + 0,14 * 4800 = 1084,9 \text{ тис.грн.}$$

Для тих умов, які розглядаються, величина приведених витрат для другого варіанту залишається без змін. Тобто

$$\Pi_2 = 1023 \text{ тис.грн.}$$

Для третього варіанта при його співставленні з другим приведені витрати стануть рівними

$$\Pi_{3 \text{ ек.}}' = 503,6 + 0,14 * 3700 = 1021,6 \text{ тис. грн.}$$

Аналізуючи величини приведених витрат, бачимо, що в цьому випадку, як і у випадку зменшення капітальних витрат, змінюється оптимальний варіант: замість другого варіанту оптимальним стає також перший варіант. Проте для цього необхідно у першому варіанту знизити експлуатаційні витрати на:

$$\frac{E_1 - E_1'}{E_1} * 100\% = \frac{456,9 - 346,4}{456,9} * 100\% = 24,2\%$$

Розглядаючи структуру експлуатаційних витрат у першого варіанта, бачимо, що зниження в основному можливе за рахунок більш економного витрачання енергії, реагентів і матеріалів. Разом з тим необхідно звернути увагу на те, що відносне зниження цих складових економічних витрат високе: навіть якщо необхідне зниження планувати в рівних долях для них, то відносне зниження буде близьким до 30%, чого реально досягти нелегко. Враховуючи це, доцільно використати при оптимізації витрат метод, який би базувався як на зниженні капітальних, так і експлуатаційних витрат.

Додаток А.

Таблиця А1 – Чисельні величини вихідних даних

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K ₁	тис.грн	4900	5000	5100	5200	5300	5250	5150	5050	4950	5350
K ₂	тис.грн	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3450	3350	3250	3150
K ₃	тис.грн	3800	4000	4000	4100	4200	3850	3950	4050	4150	4250
E ₁	тис.грн	460	470	480	490	500	510	480	475	495	465
E ₂	тис.грн	610	620	615	625	635	640	620	615	625	635
E ₃	тис.грн	570	600	610	590	580	620	605	575	580	595

Контрольні питання

1. Назвіть заходи до заходів щодо підвищення технологічної надійності водозабірних інженерних об'єктів.
2. Як визначається частота ушкоджень елементів мереж?
3. Яким чином контролюється якість очистки води на очисних спорудах?
4. Як оцінюється економічна ефективність роботи інженерних об'єктів водопостачання?
5. За якими показниками слід зупиняти водозабірний процес з підземного джерела на ремонтні роботи для заміни насосного обладнання?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2019).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www. http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua. pdf.](http://eprints.kname.edu.ua.pdf) (дата звернення: 29.01. 2020).

Практичне заняття 6

Тема заняття: Техніко-економічний аналіз інженерних об'єктів розподілу води

Питання для перевірки засвоєння і контролю теоретичного матеріалу:

- Які етапи входять в комплекс робіт по вивченню роботи діючих систем водопостачання [1]?
- Які за будівельними нормами і правилами [4] необхідно приймати питомі витрати на одного мешканця при перспективному проектуванні населених пунктів?
- Як визначаються середньодобові витрати для населених пунктів [2,3,4] ?
- Як визначаються максимальні добові витрати для населених пунктів [2,3,4] ?
- Як визначаються максимальні добові і годинні коефіцієнти нерівномірності водопостачання [4] ?
- Як визначаються максимальні годинні витрати для населених пунктів [2,3]

Мета заняття - набути навички аналізу техніко-економічних показників елементів водопровідних інженерних об'єктів.

Задача

В місті відчуваються перебої в одержанні води з мережі мешканцями різних районів. Для встановлення причин цих перебоїв була виконана п'єзометрична зйомка, результати якої наведені в табл.6.

Таблиця 1 – Результати п'єзометричної зйомки мережі

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Позначка поверхні землі в точці виміру, м		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂
Вільний напір в точці виміру, м		H ₁		H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂

Схема мережі міста наведена на рис.1. Визначити райони недостатнього напору, якщо вся поверхня забудована будинками в **n** поверхів. Встановити кількість водоживлювачів, які забезпечують мережу водою, а також визначити, на скільки необхідно збільшити їх напір, щоб виключити перебої в подачі води. Чисельні величини прийняти по додатку А.

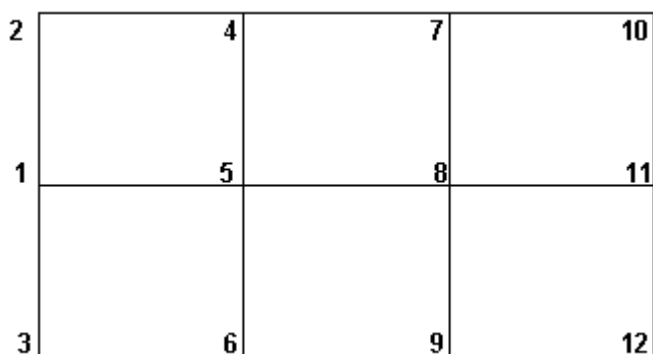


Рисунок 1 – Схема мережі міста.

Розв’язування типової задачі.

Припустимо, що напори в мережі характеризуються даними, що наведені в табл.27.

Таблиця 2 – Результати п’езометричної зйомки мережі

Номер точки виміру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Позначка поверхні землі в точці виміру, м	30	31	37	33	36	35	32	31	31	33	32	31
Вільний напір в точці виміру, м	40	36	29	27	20	22	24	25,5	20	30	20	24

а) Визначається район недостатніх напорів. Для цього порівнюється вільний напір у вузлових точках H_i з потрібним вільним напором H_{in} . При нормальній роботі повинна зберігатися умова:

$$H_i \geq H_{in} \quad (1)$$

При п’ятиповерховій забудові

$$H_{in} = 6 + 4 \cdot n = 6 + 4 \cdot 5 = 26 \text{ (м)}.$$

Район недостатнього напору – це частина мережі в районі вузлів 5, 6, 7, 8, 11, 12.

б) Обчислюються п’езометричні позначки в усіх вузлах за формулою:

$$П_i = H_i + Z_i \quad (2)$$

Результати обчислення приведені на рис. 2.

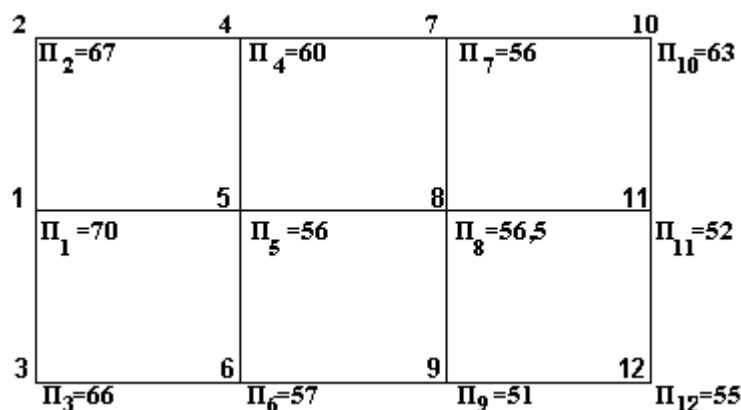


Рисунок 2 – П'єзометричні позначки в вузлах мережі

в) За результатами визначення п'єзометричних позначок на схемі показуються напрями руху води (від більшої п'єзометричної позначки до меншої) (рис. 3).

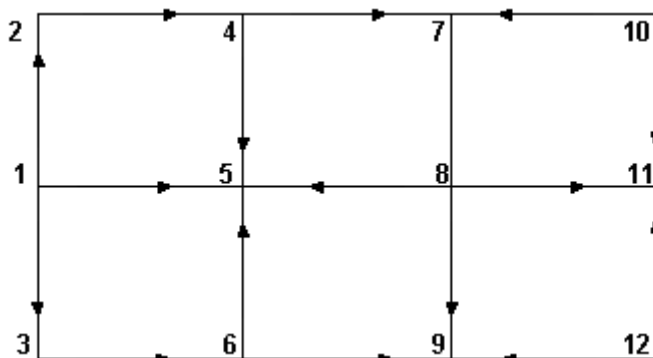


Рисунок 3 – Схема з напрямками руху води в мережі.

За законами гідравліки в кожній вузловій точці повинна зберігатися умова:

$$\sum q_{\text{вузл.}} = 0 \quad (3)$$

Для схеми, яка наведена на рис. 3, ця умова не буде зберігатися в двох випадках:

- 1) коли з вузла потоки тільки виходять;
- 2) коли у вузол потоки тільки входять.

В першому випадку для виконання умови (4) в вузли, з яких потоки тільки виходять, необхідно направляти потік від водоживлювача.

В другому випадку споживач повинен відібрати загальні витрати з вузлів, в які потоки тільки входять. Аналізуючи схему з напрямками потоків (рис.3), бачимо, що вузлів, з яких потоки тільки виходять на мережі чотири: 1, 8, 10, 12. Таким чином, в ці вузли вода повинна надходити від водоживлювачів. Приймаючи, що в кожний вузол вода подається від свого водоживлювача (насосної станції або резервуара), встановлюємо, що повинно бути 4 водоживлювача.

г) Щоб встановити наскільки треба збільшити напір водоживлювачів, визначаємо, в якому вузлі найбільший додатній нестаток напору:

$$\Delta H_i = H_{in} - H_i \quad (4)$$

Враховуючи, що мережа обслуговує забудову, яка має однакову кількість поверхів, максимальна величина ΔH може бути отримана при мінімальній величині H_i . Аналізуючи вузли з недостатнім напором, бачимо, що найнижчі вільні напори спостерігаються у вузлах 5, 9 і 11.

$$\Delta H_5 = \Delta H_9 = \Delta H_{11} = 26 - 20 = 6 \text{ м}$$

Таким чином, якщо не змінювати одержаний розподіл потоків в мережі, то для ліквідації перебоїв в подачі води необхідно напір кожного водоживлювача збільшити на 6м. При цьому на таку ж величину збільшаться напори у всіх вузлах.

Контрольні питання

1. В чому зміст загальної задачі удосконалення роботи мереж?
2. Якими шляхами розв'язується загальна задача модернізації інженерного об'єкту?
3. В чому головний зміст кожного окремого шляху розв'язування загальної задачі модернізації інженерного об'єкту?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2019).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www.http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icssc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:<http://eprints.kname.edu.ua>. pdf. (дата звернення: 29.01. 2020).

Практичне заняття 7

Удосконалення роботи інженерних об'єктів водовідведення

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Чим пояснюється те, що в системах водовідведення напірно-витратна характеристика в межах рекомендуємої області роботи описується не квадратичною, а лінійною залежністю?
- Як збільшити подачу діючої каналізаційної станції?
- За рахунок чого можна зменшити опір напірних колекторів при їх реконструкції?

Мета заняття – набути навички аналізу роботи елементів системи водовідведення та розробки заходів для удосконалення роботи очисних інженерних об'єктів та виконання необхідних розрахунків.

Задача №1. Побудувати графік залежності довжини l додаткового колектора, який прокладається паралельно до тих колекторів, що вже існують, з метою зменшення їх загального опору, від відносного збільшення витрати в напірних трубопроводах φ_i . В вихідному положенні напірні трубопроводи виконано у вигляді n_0 паралельних ліній довжиною L такого ж діаметра, як і існуючі колектори.

Розв'язування типової задачі

Аналітична залежність $l_i = f(\varphi_i)$ має вигляд:

$$l_i = \frac{1 - \varphi_i^2}{\varphi_i^2} \times \frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} L,$$

де φ_i – коефіцієнт збільшення витрати,

n_1 і n_0 - кількість напірних колекторів на різних ділянках (відповідно там де є підсилюючий колектор і де його немає).

Якщо в вихідному положенні було n_0 напірних колекторів довжиною L , то n_0+1 паралельний колектор повинен бути такої ж довжини при

необхідності збільшення загальної витрати в $\frac{n_0+1}{n_0}$ рази, коли кожний колектор буде подавати по $\frac{1}{n_1}$ від загальної витрати.

Розглянемо випадок, коли $n_0=2$, а $L=100$ м.

В цьому випадку $n_0=2$ і $n_1=3$. Тоді

$$\frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} = \frac{3^2}{2^2 - 3^2} = -\frac{9}{5} = -1,8.$$

Складаємо допоміжну таблицю 14. Для цього задаємось величинами φ_i в межах від $\varphi_i=1,1$ до

$$\varphi_1 = (n_0 + 1) / n_0 = (2 + 1) / 2 = 1.5.$$

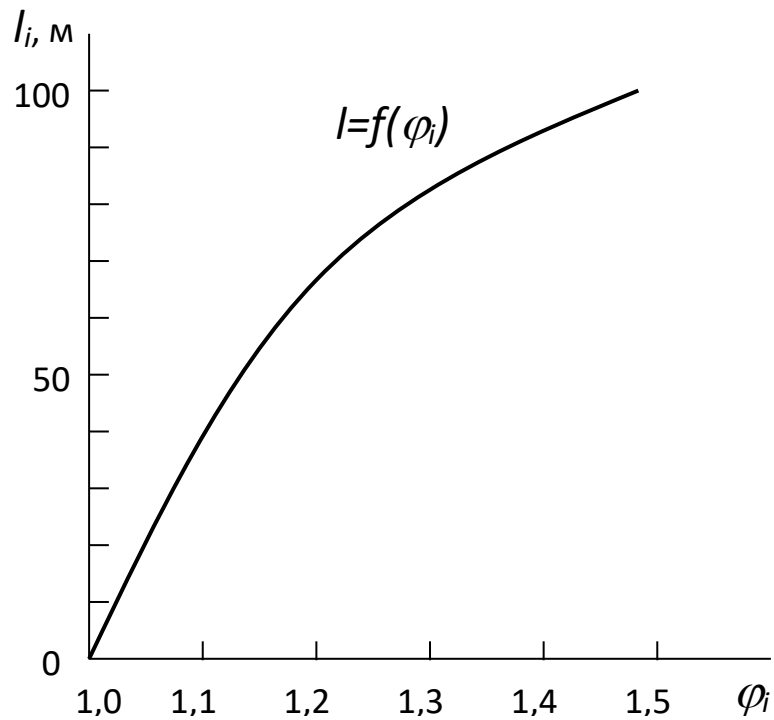
і визначаємо необхідну довжину підсилюючого колектора. При цьому, щоб одержати необхідну кількість точок для побудови графіка необхідно діапазон зміни φ_i від $\varphi_{i.мін}$ до $\varphi_{i.макс}$ розділити не менше, ніж на 3 відрізка.

Таблиця 1 – Необхідна довжина підсилюючого колектора l_i при різному

φ_{11}

Параметр, який визначається	Величина параметра при φ_i				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$(1 - \varphi_i^2) / \varphi_i^2$	-0,17	-0,30	-0,41	-0,49	-0,56
l_i , м	31	54	74	88	100

Графічна залежність $l_i = f(\varphi_i)$ буде мати вигляд:



Задача №2. Як зміниться режим роботи ділянок переходу через річку колектора довжиною l_4 і $d=150$ мм, схема якого приведена на рис.2, якщо витрата стоків збільшиться в φ_2 разів.

Три ділянки самопливного колектора $d=300$ мм з верхової сторони дюкера характеризується такими показниками: ухил труб $i=0,004$, загальна довжина $l=150$ м, витрата 40л/с, швидкість руху стоків $v=0,9$ м/с, наповнення $h/d=0,6$. Необхідні чисельні величини прийняти по додатку А.

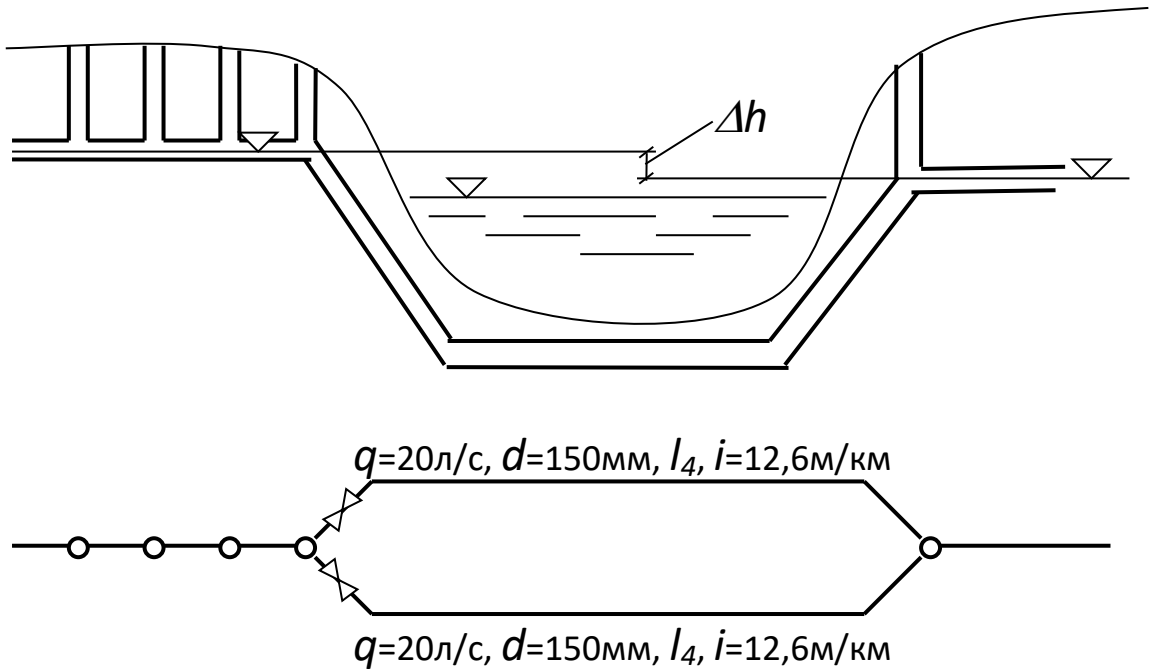


Рисунок 2 – Схема переходу через річку

Розв'язування типової задачі

Дано: $l_4=150\text{м}$, $\varphi_2=1,3$.

Втрати напору в дюкері в вихідному стані дорівнюють:

$$\Delta h_1 = h_l + h_m = il_4 + \sum \zeta_i \frac{v_g^2}{2g},$$

де h_l і h_m – втрати напору по довжині і на місцеві опори відповідно,

ζ_i - коефіцієнти місцевого опору в дюкері.

$$\Delta h_1 = 12.6 \times 0.15 + (\zeta_{вх.} + \zeta_{зас.} + m \zeta_{відв.} + \zeta_{вих.}) \frac{v_g^2}{2g},$$

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

m - кількість відводів, $m=2$;

v_g - швидкість руху стоків в дюкері.

$$\Delta h = 1,89 + (0,5 + 0,11 + 2 \times 0,15 + 1) \frac{1,13^2}{2 \times 9,81} = 2,01 \text{ м}$$

При збільшенні витрати в $\varphi_2=1,3$ рази втрати напору зростуть в $1,3^2=1,69$ рази і складуть:

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

що на

$$\Delta h_3 = \Delta h_2 - \Delta h_1 = 3,38 - 2,01 = 1,37 \text{ м}$$

більше вихідних втрат напору.

Перепад позначок рівнів стоків між крайніми колодзями з верхової і низової сторін переходу складає:

$$\Delta h_g = i_g \times l_g,$$

де i_g – ухил верхової лінії,

l_g - довжина верхової ділянки.

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

Якщо не вжити ніяких заходів, то при збільшенні витрат вся верхня ділянка, а також ряд прилеглих ділянок будуть підтоплені, тому що

$$\Delta h_3 > \Delta h_g.$$

Для зменшення втрат напору в переході можна прокласти додаткову лінію дюкеру, що приведе до перерозподілу витрат стоків в лініях. При загальній витраті:

$$40 \times 1,3 = 52 \text{ л/с}$$

витрата в кожній лінії буде:

$$52 / 3 = 17,33 \text{ л/с}.$$

В цьому випадку швидкість руху стоків в лініях дюкеру буде:

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

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

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

Таким чином, в цьому випадку система буде працездатною, але можливе замулювання окремих ліній. З цим можна боротися за допомогою промивки, виключаючи періодично на період промивки одну з ліній дюкеру.

Додаток А

Вихідні дані для розв'язування задач

Показник		Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_3	м	14	15	19	16	22	19	21	18	20	17
φ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
n_0	шт	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2
L	м	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
φ_2	разів	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,2
l_4	м	140	160	170	130	120	140	150	160	170	180

Контрольні питання

1. Яка характеристика самопливних ліній в системах водовідведення?
2. Для чого виконуються перевірочні розрахунки комплексу водовідведення?
3. Головні задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення.
4. Як забезпечується збільшення пропускної можливості напірних елементів систем водовідведення?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ:

Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2020).

2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ:

Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www.http://icewc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icewc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).

3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua. pdf.](http://eprints.kname.edu.ua.pdf) (дата звернення: 29.01. 2020).

4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с.

(Інформація та документація). URL:

https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180.

Практичне заняття 8

Моніторинг роботи об'єктів водовідведення

Питання до повторювання

1. Формули для визначення видкості самоочистки.
2. Реальні режими течії стічних вод у каналах та трубах.

Мета заняття – набути навички виконання аналітичного аналізу роботи елементів водовідведення та виконання необхідних розрахунків гідравлічних режимів їх роботи.

Завдання 1. Запроектувати за діючими нормативами трубопровід для транспортування стічних вод від району з кількістю мешканців "N" при нормі водовідведення "n".

Завдання 2. Для цього ж району перерахувати мережу, виходячи з режиму розмивання осаду. Для розрахунків прийняти, що мінімальна денна витрата є близькою до середньої витрати за добу.

Алгоритм рішення і приклад.

Завдання 1. Кількість мешканців $N=3000$; норма водовідведення $n=210$ л за добу з га.

1. Визначити середню витрату стічних вод

$$\bar{q} = \frac{n \times N}{86400} = \frac{3000 \times 210}{86400} = 7.3 \text{ л/с}$$

2. За таблицею 1 "СНиП 2.04.03-85", використовуючи формулу адитивності, знайти коефіцієнт нерівномірності

$$K = 2.5 + \frac{2.1 - 2.5}{10 - 5} \times (7.3 - 5) = 2.32$$

3. Знайти максимальну витрату

$$q = \bar{q} \times K = 7.3 \times 2.32 = 16.9 \text{ л/с}$$

4. Призначити діаметр труби.

$$d=200\text{мм}$$

5. За "СНиП"ом нормативне наповнювання становить $h/d=0.6$. За таблицями Лукіних для цього наповнювання гідравлічний радіус та змочений перетин становлять

$$R=0.2776*d=0.2776*0.2=0.0555 \text{ м}$$

$$\omega=0,4920*d^2=0,4920*0,2^2=0,0197 \text{ м}^2$$

6. Визначаємо мінімальну швидкість, наприклад, за формулою Федорова

$$v_{\min} = 1.57 \times \sqrt[n]{R} = 1.57 \times \sqrt[3.527755]{0.055} = 0.689 \text{ м/с};$$

$$\text{де } n=3.5+0.5R=3.5+0.5*0.0555=3.52775$$

7. Визначаємо фактичну швидкість за рівнянням нерозривності потоку

$$v = \frac{q}{\omega} = \frac{16.9 \times 10^{-3}}{0.0197} = 0.86 \text{ м/с}$$

8. Ухил, з яким слід укласти трубу, розраховуємо за відомими рівняннями, наприклад, Шезі-Манінга

$$i = \frac{v^2}{c^2 \times R} = \frac{0.86^2}{46.98^2 \times 0.0555} = 0.006$$

$$c = \frac{R^{0.17}}{n} = \frac{0.055^{0.17}}{0.013} = 46.98$$

де 0,013 – коефіцієнт шорсткості труби.

Задача 2.

1. Діаметр труби в данному випадку змінити неможливо, бо це мінімальний діаметр.

2. Приймаючи для розрахунків розрахункову витрату як мінімальну у денний період, і швидкість у першому наближенні $v=0.86\text{ м/с}$, визначимо відповідну площу змоченого перетину

$$\omega = q/v = 0.0073/0.86 = 0.0085 \text{ м}^2$$

3. За формулою $\omega = k \cdot d^2$ знаходимо значення $k = 0.0085/0.04 = 0.2122$

По таблицях Лукіних для наведеного k знаходимо інтерполяцією відносте наповнювання h/d і гідравлічний радіус R .

$$h/d = 0.35 - \frac{0.35 - 0.3}{0.2456 - 0.1982} \times (0.2122 - 0.1982) = 0.3352$$

$$R = 0.1935 - \frac{0.1935 - 0.1709}{0.35 - 0.3} \times (0.35 - 0.3352) = 0.1868$$

4. Абсолютний рівень води становить $H = 0,2 \cdot 0,3352 = 0,067 \text{ м}$

5. Розрахуємо швидкість v за формулою Шенна у вигляді швидкості

$$v = 2.5 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times (2650 - 1000) \times 1.04 \cdot 10^{-3}}{3.5 \times 1000}} \times \left(\frac{1.04}{3.05}\right)^{1/12} \times \lg \frac{8.8 \times 0.067}{3.05 \cdot 10^{-3}} = 0.72 \text{ м/с}$$

де ρ_1, ρ – густина відповідно піску та води, кг/м^3 ; k – середній розмір частинок піску; k_5 – розмір частинок піску, менше якого в стічних водах міститься 5% осаду. Приймаємо $\rho_1 = 2650$; $\rho = 1000$;

$$k = 1.04 \text{ мм}; \quad k_5 = 3,05 \text{ мм.}$$

6. Друге наближення.

Визначаємо площу поперечного перетину за зміненою швидкістю

$$\omega = q/v = 0.0073/0.72 = 0.01014 \text{ м}^2$$

За формулою $\omega = k \cdot d^2$ знаходимо значення $k = 0.01014/0.04 = 0.25347$

По таблицях Лукіних для наведеного k знаходимо інтерполяцією відносте наповнювання $h/d=0,3587$ і гідравлічний радіус $R=0,1971$.

Тоді абсолютне наповнювання становить $H=0,3587*0,2=0,0717$ м.

Підставляючи отримане значення H , розраховуємо швидкість, що забезпечує повне розмивання осаду. $v=0.737$ м/с.

Порівнюючи з попередньою швидкістю, бачимо, що відхилення несуттєве, тобто подальші розрахунки недоцільні.

$$\Delta = \frac{0.737 - 0.72}{0.72} \times 100 = 2.4\%$$

Таблиця 1.-Вихідні дані до практичного заняття

№ варіанта	Кількість мешканців	Норма водовідведення
1	6300	200
2	9500	250
3	7900	300
4	5500	250
5	9600	230
6	13000	300
7	14200	275
8	17000	300
9	20600	250
10	13000	350
11	18000	275
12	5900	220
13	6300	300
14	7600	250
15	10800	230
16	8900	280

17	8650	300
18	10400	350
19	14500	250
20	12100	250
21	10100	300
22	8650	350
23	15700	220
24	12300	280
25	10100	320
26	9800	350
27	14400	300
28	12300	350
29	17300	250
30	16500	320

Контрольні питання

1. Які труби не використовують для мереж водовідведення?
2. Які функції виконує гідротранспорт?
3. Які з властивостей пластмасових труб є найбільш небажаними для прокладання?
4. Від чого залежить глибина прокладання мереж водовідведення?
5. Як виконується керування запірною арматурою на мережах?

Література

1. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація). URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1045>
2. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення: підручник. Київ: знання, 2011. 359 с.
3. Ткачук О.А. Міські інженерні мережі : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 412 с.

4. Тугай А.М. Міські інженерні мережі та споруди : підруч. для студентів ВНЗ. Київ : КНУБА, 2016. 287 с.

Практичне заняття 7

Удосконалення роботи інженерних об'єктів водовідведення

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Чим пояснюється те, що в системах водовідведення напірно-витратна характеристика в межах рекомендуємої області роботи описується не квадратичною, а лінійною залежністю?
- Як збільшити подачу діючої каналізаційної станції?
- За рахунок чого можна зменшити опір напірних колекторів при їх реконструкції?

Мета заняття – набути навички аналізу роботи елементів системи водовідведення та розробки заходів для удосконалення роботи очисних інженерних об'єктів та виконання необхідних розрахунків.

Задача №1. Побудувати графік залежності довжини l додаткового колектора, який прокладається паралельно до тих колекторів, що вже існують, з метою зменшення їх загального опору, від відносного збільшення витрати в напірних трубопроводах φ_i . В вихідному положенні напірні трубопроводи виконано у вигляді n_0 паралельних ліній довжиною L такого ж діаметра, як і існуючі колектори.

Розв'язування типової задачі

Аналітична залежність $l_i = f(\varphi_i)$ має вигляд:

$$l_i = \frac{1 - \varphi_i^2}{\varphi_i^2} \times \frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} L,$$

де φ_i – коефіцієнт збільшення витрати,

n_1 і n_0 - кількість напірних колекторів на різних ділянках (відповідно там де є підсилюючий колектор і де його немає).

Якщо в вихідному положенні було n_0 напірних колекторів довжиною L , то n_0+1 паралельний колектор повинен бути такої ж довжини при

необхідності збільшення загальної витрати в $\frac{n_0+1}{n_0}$ рази, коли кожний колектор буде подавати по $\frac{1}{n_1}$ від загальної витрати.

Розглянемо випадок, коли $n_0=2$, а $L=100$ м.

В цьому випадку $n_0=2$ і $n_1=3$. Тоді

$$\frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} = \frac{3^2}{2^2 - 3^2} = -\frac{9}{5} = -1,8.$$

Складаємо допоміжну таблицю 14. Для цього задаємось величинами φ_i в межах від $\varphi_i=1,1$ до

$$\varphi_I = (n_0 + 1) / n_0 = (2 + 1) / 2 = 1.5.$$

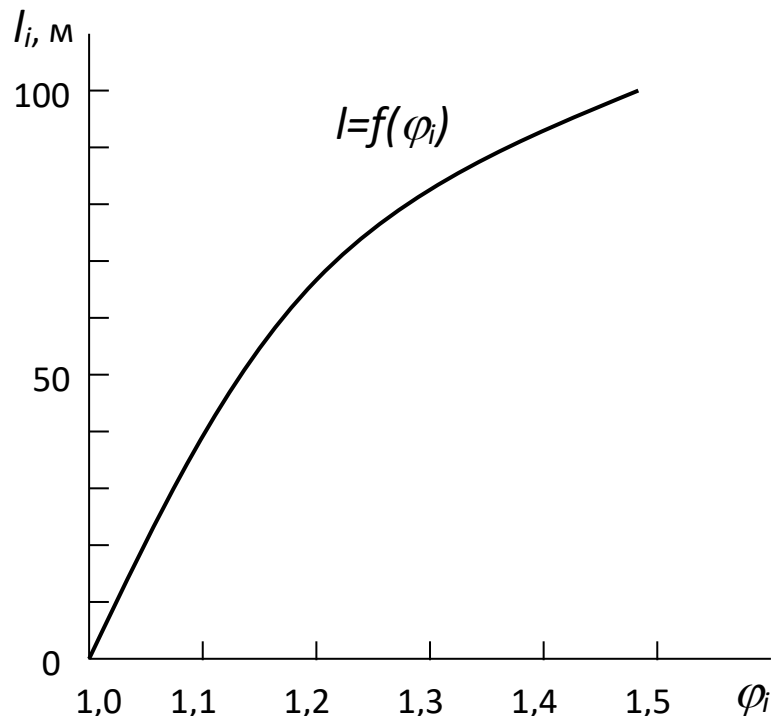
і визначаємо необхідну довжину підсилюючого колектора. При цьому, щоб одержати необхідну кількість точок для побудови графіка необхідно діапазон зміни φ_i від $\varphi_{i.мін}$ до $\varphi_{i.макс}$ розділити не менше, ніж на 3 відрізка.

Таблиця 1 – Необхідна довжина підсилюючого колектора l_i при різному

φ_{i1}

Параметр, який визначається	Величина параметра при φ_i				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$(1 - \varphi_i^2) / \varphi_i^2$	-0,17	-0,30	-0,41	-0,49	-0,56
l_i , м	31	54	74	88	100

Графічна залежність $l_i = f(\varphi_i)$ буде мати вигляд:



Задача №2. Як зміниться режим роботи ділянок переходу через річку колектора довжиною l_4 і $d=150$ мм, схема якого приведена на рис.2, якщо витрата стоків збільшиться в φ_2 разів.

Три ділянки самопливного колектора $d=300$ мм з верхової сторони дюкера характеризується такими показниками: ухил труб $i=0,004$, загальна довжина $l=150$ м, витрата 40л/с, швидкість руху стоків $v=0,9$ м/с, наповнення $h/d=0,6$. Необхідні чисельні величини прийняти по додатку А.

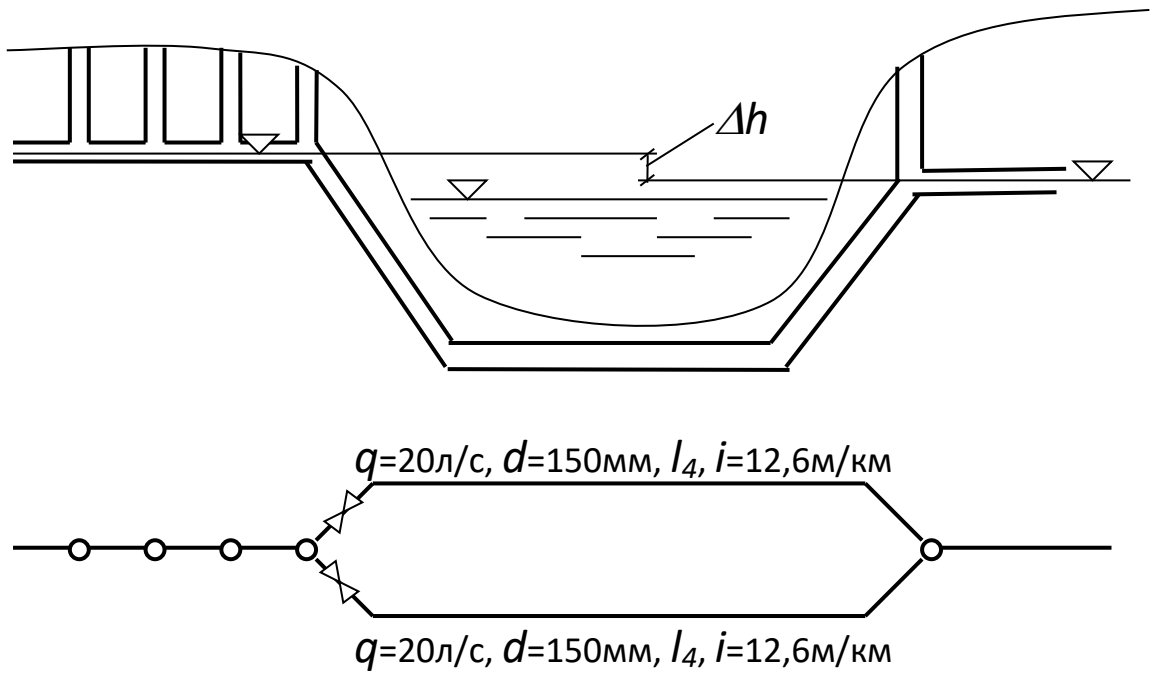


Рисунок 2 – Схема переходу через річку

Розв'язування типової задачі

Дано: $l_4=150\text{м}$, $\varphi_2=1,3$.

Втрати напору в дюкері в вихідному стані дорівнюють:

$$\Delta h_1 = h_l + h_m = il_4 + \sum \zeta_i \frac{v_g^2}{2g},$$

де h_l і h_m – втрати напору по довжині і на місцеві опори відповідно,

ζ_i - коефіцієнти місцевого опору в дюкері.

$$\Delta h_1 = 12,6 \times 0,15 + (\zeta_{вх.} + \zeta_{зас.} + m \zeta_{відв.} + \zeta_{вих.}) \frac{v_g^2}{2g},$$

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

m - кількість відводів, $m=2$;

v_g - швидкість руху стоків в дюкері.

$$\Delta h = 1,89 + (0,5 + 0,11 + 2 \times 0,15 + 1) \frac{1,13^2}{2 \times 9,81} = 2,01 \text{ м}$$

При збільшенні витрати в $\varphi_2=1,3$ рази втрати напору зростуть в $1,3^2=1,69$ рази і складуть:

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

що на

$$\Delta h_3 = \Delta h_2 - \Delta h_1 = 3,38 - 2,01 = 1,37 \text{ м}$$

більше вихідних втрат напору.

Перепад позначок рівнів стоків між крайніми колодзями з верхової і низової сторін переходу складає:

$$\Delta h_g = i_g \times l_g ,$$

де i_g – ухил верхової лінії,

l_g - довжина верхової ділянки.

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

Якщо не вжити ніяких заходів, то при збільшенні витрат вся верхня ділянка, а також ряд прилеглих ділянок будуть підтоплені, тому що

$$\Delta h_3 > \Delta h_g .$$

Для зменшення втрат напору в переході можна прокласти додаткову лінію дюкеру, що приведе до перерозподілу витрат стоків в лініях. При загальній витраті:

$$40 \times 1,3 = 52 \text{ л/с}$$

витрата в кожній лінії буде:

$$52 / 3 = 17,33 \text{ л/с .}$$

В цьому випадку швидкість руху стоків в лініях дюкеру буде:

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

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

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

Таким чином, в цьому випадку система буде працездатною, але можливе замулювання окремих ліній. З цим можна боротися за допомогою промивки, виключаючи періодично на період промивки одну з ліній дюкеру.

Додаток А

Вихідні дані для розв'язування задач

Показник		Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_3	м	14	15	19	16	22	19	21	18	20	17
φ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
n_0	шт	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2
L	м	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
φ_2	разів	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,2
l_4	м	140	160	170	130	120	140	150	160	170	180

Контрольні питання

1. Яка характеристика самопливних ліній в системах водовідведення?
2. Для чого виконуються перевірочні розрахунки комплексу водовідведення?
3. Головні задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення.
4. Як забезпечується збільшення пропускної можливості напірних елементів систем водовідведення?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ:

Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2020).

2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ:

Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www.http://icewc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icewc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).

3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua. pdf.](http://eprints.kname.edu.ua.pdf) (дата звернення: 29.01. 2020).

4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с.

(Інформація та документація). URL:

[https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180.](https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180)

Практичне заняття 9

Тема заняття: Реконструкція очисних інженерних об'єктів

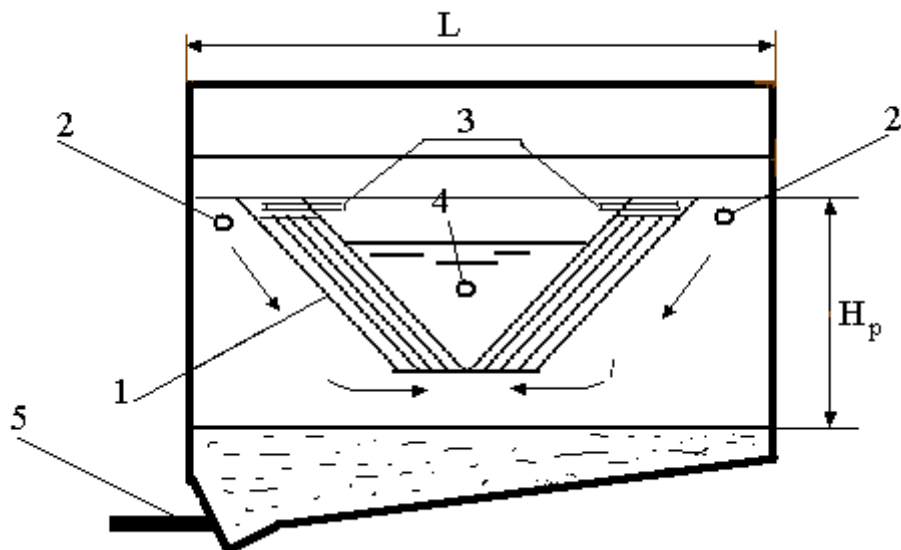
- Які основні задачі реконструкції станцій водопідготовки?
- Якими шляхами розв'язуються ці основні задачі?
- Які параметри доцільно аналізувати при реконструкції реагентного господарства?
- Які шляхи підвищення ефективності роботи реагентного і складського господарства?

Мета заняття – набути навички розробки заходів для удосконалення роботи очисних інженерних об'єктів та виконання необхідних розрахунків.

Задача №1.

Визначити, як зміниться допустиме навантаження на горизонтальний відстійник (рис.10), якщо його переобладнати у відстійник з тонкошаровими модулями. Горизонтальний відстійник має параметри: довжина L м, ширина B м, робоча глибина H_p м, швидкість руху води в ньому v мм/с, що забезпечує затримання в ньому завислих речовин з гідравлічною крупністю u мм/с. Пакети тонкошарових модулів встановлюються під кутом 60° до горизонту, загальна висота пакета $h_n = H_p$ в тому числі неперотічна частина $h_s = 0,5$ м. Відстань між пластинами $v_n = 0,04$ м, товщина скла, з якого виготовляються пластини $v_l = 0,004$ м. Можливі монтажні зазори між пакетами і стінками $t = 0,2$ м.

Чисельні значення величин прийняти згідно з додатком А.



1 – пакет пластин, 2 – перфорований впускний трубопровід, 3 – труби для відводу води після освітлення, 4 – колектор для відводу, 5 – мулопровід.

Рисунок 1 – Установка тонкошарових модулів в горизонтальному відстійнику.

Розв'язування типової задачі.

Дано: $L = 18\text{м}$, $B = 2\text{м}$, $H_p = 1,6\text{м}$, $v = 4\text{мм/с}$, $u = 0,5\text{мм/с}$.

Знайти годинне навантаження на відстійник до його реконструкції:

$$Q_{\text{від}} = F * v,$$

де F - площа поперечного перерізу.

$$Q_{\text{від}} = 2 * 1,6 * 0,004 * 3600 = 46\text{м}^3 / \text{год}$$

Впродовж відстійника встановлюються два пакета нахилених під кутом 60° пластин загальною висотою $h_n = 1,6\text{м}$.

Загальна довжина L_n , яка буде зайнята пластинами, визначається за формулою:

$$L_n = L - 2h_n * \text{tg}30^\circ - 2t = 18 - 2 * 1,6 * 0,57735 - 2 * 0,2 = 16,55\text{м}$$

Пакети виготовляються з віконного скла товщиною $v_1 = 0,004\text{м}$. Висота частини пакета від його верху до верхньої кромки пластин $h_e = 0,5\text{м}$. Тоді довжина протічної частини в пластинах буде:

$$L_1 = (h_n - h_e) / \cos 30^\circ = (1,6 - 0,5) / \cos 30^\circ = 1,27\text{м}$$

Загальна кількість пакетів у відстійнику

$$n = L_n / (v_n + v_1) = 16,65 / (0,04 + 0,004) = 376\text{шт}$$

Термін відстоювання у пакеті

$$T = v_n * 1000 / (\sin 30^\circ * u) = 0,04 * 1000 / (0,5 * 0,5) = 160\text{с}$$

Максимальна швидкість потоку в пакеті

$$v_{\text{макс}} = L_1 / T = 1,27 / 160 = 0,00794\text{м/с}$$

Годинне навантаження на відстійник після реконструкції визначається за формулою

$$Q'_{\text{від}} = (3600 * v_{\text{макс}} / k) * 2 * 0,755 * n * B * v_n,$$

де k – коефіцієнт, $k = 1,5 \div 2,5$

$$Q'_{\text{від}} = (3600 * 0,00794 / 1,7) * 2 * 0,755 * 376 * 0,8 * 0,04 = 305\text{м}^3 / \text{год}$$

Співвідношення навантажень на відстійник

$$\frac{Q'_{\text{від}}}{Q_{\text{від}}} = \frac{305}{46} = 6,6$$

Таким чином, переобладнання відстійника з установкою в ньому тонкошарових пакетів дозволяє збільшити навантаження на нього більше, ніж в 6 разів. Якщо навантаження не збільшувати, то буде кращою водопідготовка за рахунок затримання більш малих частинок з огляду на те, що максимальна швидкість потоку в пакетах зменшиться до величини

$$v_{\text{макс}} = Q'_{\text{від}} * 1000 * 1,7 / (2 * 0,755 * n * B * v_n * 3600) = 1,2\text{мм/с}$$

Перевіряємо стійкість роботи відстійника за числом Фруда

$$F_r = v_{\text{макс}}^2 / (gR) \geq 10^{-5}$$

де R – гідравлічний радіус, м.

$$R = \frac{B * \epsilon_n}{2 * (B + \epsilon_n)} = \frac{0.8 * 0.04}{2 * (0.8 + 0.04)} = 1.9 * 10^{-2}$$

Тоді

$$F_r = 0.0012^2 / (9.81 * 1.9 * 10^{-2}) = 0.77 * 10^{-5}$$

Таким чином, потік буде нестійким і необхідно збільшити початкове навантаження на відстійник. Приймаючи $F_r = 1 * 10^{-5}$, визначимо допустиму швидкість

$$v'_{\text{макс}} = \sqrt{g * R * 10^{-5}} = \sqrt{9.81 * 1.9 * 10^{-2} * 10^{-5}} = 1.36 * 10^{-3} \text{ м/с}$$

Навантаження на відстійник повинно зрости до величини

$$Q'_{\text{від}} = (3600 * 0.00136 / 1.7) * 2 * 0.755 * 376 * 0.8 * 0.04 = 52 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Термін відстоювання буде

$$T' = L_1 / v'_{\text{макс}} = 1.27 / (1.36 * 10^{-3}) = 934 \text{ с}$$

Гідравлічна крупність завислих речовин, які будуть затримуватися, зменшиться до величини

$$u' = 40 / (\sin 30^\circ * 93.4) = 0.085 \text{ м/с}$$

Розрахунки підтверджують доцільність переобладнання горизонтальних відстійників в відстійники з тонкошаровими пакетами.

Задача №2.

Висотна схема очисної станції продуктивністю $Q_{\text{ст}}$ м³/добу, яка обладнана контактними освітлювачами, вхідними камерами і камерою гасіння напору, характеризується такими втратами напору між окремими спорудами:

- ділянка №1 від резервуарів чистої води до контактних освітлювачів - $h_1 = 0,8\text{м}$;
- в контактному освітлювачі – $h_2 = 2,2\text{м}$;
- ділянка №2 від контактних освітлювачів до змішувачів - $h_3 = 0,4\text{м}$;
- у змішувачеві - $h_4 = 0,5\text{м}$;
- ділянка №3 від змішувачів до вхідних камер - $h_5 = 0,2\text{м}$;
- у вхідних камерах - $h_6 = 0,4\text{м}$;
- ділянка №4 від вхідних камер до камери гасіння - $h_7 = 0,8\text{м}$.

Висота бортів споруд над рівнем води при нормальній роботі 0,5м. Визначити, яку максимальну витрату здатні пропустити ці споруди, якщо якість води дозволяє підтримувати фільтроцикл в 24 год. Намітити, які додаткові роботи необхідно виконати для збільшення продуктивності станції. Чисельну величину $Q_{\text{ст}}$ прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі.

Нехай добова витрата буде 96000 м³/добу.

Для можливості збільшення продуктивності станції визначимо умовні загальні опори на кожній з ділянок, виходячи із співвідношення.

$$h_i = S_{\phi i} * Q^2,$$

де h_i – опір на відповідній і-й ділянці чи споруді;

$S_{\phi i}$ – загальний фіктивний опір і – ої ділянки чи споруди,
 $S_{\phi i} = h_i / Q^2 = h_i * 24 * 3600 / Q^2 \text{ м}^3 / \text{с}$

Розрахунок загальних фіктивних опорів зведено в табл.19.

Таблиця 1 – Фіктивні загальні опори елементів висотної схеми

Номер елемента	Шлях, який розглядається	Втрати напору, м	Загальний опір, $(\text{с}/\text{м}^3)^2 \text{ м}$
1	Від РВЧ до контактного освітлювача	0,8	0,648
2	Контактний освітлювач	2,2	1,782
3	Від контактного освітлювача до змішувача	0,4	0,324
4	Змішувач	0,5	0,405
5	Від змішувача до вхідної камери	0,2	0,162
6	Вхідна камера	0,4	0,324
7	Від вхідної камери до камери гасіння	0,8	0,648

Розглянемо можливість змін витрат на окремих ділянках висотної схеми.

При зростанні втрат напору у трубопроводах від контактних освітлювачів, до резервуарів чистої води, рівень води в них буде знижуватися. Величина такого зниження буде залежати від величини витрати. Якщо допустити зниження на 0,5м, тоді на цій ділянці втрата може зрости до величини, яка визначається за формулою

$$Q_1 = \sqrt{h'_1 / S_1},$$

де h'_1 – опір на першій ділянці.

$$h'_1 = h_1 + 0.5 = 0.8 + 0.5 = 1.3 \text{ м}$$

Тоді

$$Q_1 = \sqrt{1.3 / 0.648} = 1.416 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Якщо допустити таку витрату на цій ділянці, то втрати напору в контактному освітлювачі будуть

$$h_{k0} = S_{k0} * Q_1^2 = 1.782 * 1.416^2 = 3.57 \text{ м}$$

що перевищує існуючі втрати напору на

$$3.57 - 2.2 = 1.37 \text{ м}$$

Допустити такі втрати неможливо, тому що борт контактного освітлювача перевищує рівень води в ньому тільки на 0,5 м. Максимальні втрати напору в контактних освітлювачах можна допустити на 0,25 м більше

існуючих. Тоді максимальна пропускна можливість існуючих контактних освітлювачів може бути

$$Q_{k0} = \sqrt{h_{k0}/S_{k0}} = \sqrt{(2.2 + 0.25)/1.782} = 1.172 \text{ м}^3/\text{с}$$

тобто існуючі контактні освітлювачі дозволяють збільшити витрату на 61 л/с.

При цьому фільтроцикл зменшиться до величини

$$T' = T * \frac{Q}{Q_{k01}} = 24 * \frac{1.172}{1.172} = 22.8 \text{ год}$$

Втрати напору на ділянці від контактних освітлювачів до змішувачів стануть

$$h_3 = S_3 * Q_{k01}^2 = 0.324 * 1.172^2 = 0.44 \text{ м}$$

Тоді рівень води в змішувачах підніметься на величину

$$\Delta h_1 = (h_2' + h_3') - (h_2 + h_3)$$

де h_2', h_3' - відповідно втрати напору в трубопроводах і в змішувачах при збільшеній витраті;

h_2, h_3 - ті ж витрати в існуючому стані.

$$\Delta h_1 = (2.45 + 0.44) - (2.2 + 0.4) = 0.29 \text{ м}$$

Втрати в змішувачах після збільшення витрати стануть

$$h_4 = S_4 * Q_{k01}^2 = 0.5 * 1.172^2 = 0.69 \text{ м}$$

При такому зростанні напору відстань від рівня води в змішувачах до верхньої кромки борта стане рівною

$$0.5 - 0.29 = 0.21 \text{ м}$$

Втрати напору від змішувача до входної камери після збільшення витрати збільшаться до величини

$$h_5 = S_5 * Q_{k01}^2 = 0.2 * 1.172^2 = 0.27 \text{ м}$$

Втрати напору у входній камері зростуть до величини

$$h_6 = S_6 * Q_{k01}^2 = 0.4 * 1.172^2 = 0.55 \text{ м}$$

Рівень води у входній камері підніметься на величину

$$\Delta h_2 = (h_5' + h_6') - (h_5 + h_6) = (0.27 + 0.55) - (0.2 + 0.4) = 0.22 \text{ м}$$

Тоді рівень води у входній камері повинен піднятися на величину

$$\Delta h_{ex} = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0.29 + 0.22 = 0.51 \text{ м}$$

Таким чином, щоб збільшити подачу води на 61 л/с, необхідно нарощувати борти очисних споруд на 300мм, при цьому рівень води в резервуарах чистої води знизиться на величину

$$\Delta h_{рчв} = h_1' - h_1 = 0.648 * 1.172^2 - 0.8 = 0.09 \text{ м}$$

Для того, щоб суттєво збільшити продуктивність очисної станції необхідно зменшити загальний опір всіх комунікацій, за рахунок прокладки паралельних трубопроводів і підняти борти очисних споруд на величини, які будуть визначатися відповідною витратою.

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{ст}$	м ³ /добу	20000	25000	22000	26000	28000	35000	40000	41000	50000	45000
L	м	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
B	м	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
H_p	м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
v	мм/с	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1
u	мм/с	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49

Контрольні питання

1. Що необхідно перевіряти при аналізі роботи камер реакцій?
2. Які параметри треба аналізувати при оцінці ефективності роботи відстійників та освітлювачів?
3. Які параметри повинні оцінюватися при аналізі роботи фільтрів і контактних освітлювачів?
4. Які принципові шляхи підвищення продуктивності відстійників і освітлювачів з завислим осадом?
5. Які принципові шляхи підвищення продуктивності фільтрів і контактних освітлювачів?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2020).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: http://icwc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua. pdf.](http://eprints.kname.edu.ua.pdf) (дата звернення: 29.01. 2020).
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с. (Інформація та документація). URL: http://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180.

Практичне заняття 10

Тема заняття: Гідравлічні характеристики елементів водовідведення

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Чим відрізняється напірно-витратні характеристики насосів для перекачки стоків від насосів для перекачки чистої води?
- В чому особливість гідравлічних характеристик напірних трубопроводів систем водовідведення в порівнянні з характеристиками напірних трубопроводів систем водопостачання?
- Чим характеризуються ємності-регулятори в системах водовідведення?

Мета заняття – набути навички розробки заходів для удосконалення роботи елементів інженерних об'єктів водовідведення та виконання необхідних розрахунків.

Задача № 1. Описати аналітично напірно-витратну характеристику Q - H каналізаційного насосу в межах робочої області кривою другого порядку і прямою лінією, якщо вона описується даними: $Q_{1к}$ - $H_{1к}$, $Q_{2к}$ - $H_{2к}$, $Q_{3к}$ - $H_{3к}$, $Q_{4к}$ - $H_{4к}$, $Q_{5к}$ - $H_{5к}$, числові значення яких наведено в додатку А. Оцінити відхилення апроксимації від реальної характеристики. Чисельні значення $Q_{ік}$ і $H_{ік}$ прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Нехай напірно-витратна характеристика насосу описується залежністю (табл.11).

Таблиця 1 – Напірно-витратна характеристика насосу

Напір $H_{ік}$, м	52	50	48	46	44
Подача $Q_{ік}$, м ³ /с	25	30	35	42	47

Спочатку опишемо напірно-витратну характеристику рівнянням кривої другого порядку вигляду:

$$H = a_0 + a_1 Q^2.$$

Для крайніх меж робочої області система рівнянь буде:

$$\begin{cases} 52 = a_0 + a_1 \times 25^2, \\ 44 = a_0 + a_1 \times 47^2. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему, отримаємо

$$\begin{cases} 52 = a_0 + 625a_1, \\ 44 = a_0 + 2209a_1. \end{cases}$$

Якщо від першого рівняння відняти друге, то

$$8 = -1584 a_1 .$$

Звідки $a_1 = -0,00505$.

Підставивши величину коефіцієнта a_1 в перше рівняння, отримаємо:

$$52 = a_0 - 0,00505 \times 625 ,$$

$$a_0 = 52 + 3,16 = 55,16 .$$

Тоді напірно-витратна характеристика буде описуватись рівнянням

$$H = 55,16 - 0,00505 Q^2.$$

Знайдемо відхилення розрахункових величин напору від напору, який дається в вихідних даних. Для цього складаємо табл.2.

Для одержання розрахункових напорів, які необхідні для співставлення, задаємось подачею насоса з табл.11 і підставляємо її в рівняння напірно-витратної характеристики.

Таблиця 2 – Співставлення розрахункових і вихідних напорів при описуванні характеристики Q-H кривою другого порядку

Параметр, що аналізується	Чисельна величина параметру				
	Напір по графічній характеристиці насоса, м	52	50	48	46
Напір, який розраховано по кривій $H=f(Q)$, м	52	50,6	49	46,2	44

Абсолютне відхилення, %	0	-0,6	-1	-0,2	0
Відносне відхилення, %	0	-1,2	-2,08	-0,4	0

Тепер отримаємо характеристику лінійною залежністю вигляду:

$$H = a_0 - a_1 Q.$$

Для меж робочого діапазону система рівнянь буде:

$$\begin{cases} 52 = a_0 - a_1 \times 25, \\ 44 = a_0 - a_1 \times 47. \end{cases}$$

Розв'язуючи ці рівняння, будемо мати:

$$8 = 22 a_1, \quad a_1 = 0,3636,$$

$$a_0 = 52 + 25 \times 0,3636 = 52 + 9,09 = 61,09.$$

Тоді загальний вигляд рівняння буде:

$$H = 61,09 - 0,3636 Q.$$

Розрахуємо відхилення величин напорів, які визначаються за графічною характеристикою, від напорів, що обчислюються за останньою формулою. Для цього складемо табл. 3.

Таблиця 3 – Співставлення розрахункових і вихідних напорів при описуванні характеристики Q-H лінійною залежністю

Параметр, що аналізується	Чисельна величина параметру				
	Напір по графічній характеристиці насоса, м	52	50	48	46
Напір, який розраховано по кривій $H=f(Q)$, м	52	50,2	48,4	45,8	44
Абсолютне відхилення, %	0	-0,2	-0,4	+0,2	0
Відносне відхилення, %	0	-0,4	-0,8	+0,4	0

З таблиць 2 і 3 видно, що аналітичне описання графічної напірно-витратної характеристики забезпечує достатню для практики точність. В межах області характеристики каналізаційних відцентрових насосів, яка рекомендується для використання, напірно-витратну характеристику доцільно описувати лінійною залежністю.

Задача №2. Визначити, як зміниться повний напір пневматичної установки, яка забезпечує підймання стоків на висоту $H_{бак}$ при витраті q_{15} і довжині напірного трубопроводу l_3 і питомим опором $S_0 = 3686 \times 10^{-6}$ (для витрат в л/с), якщо витрата зросте в φ разів. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Дано: $q_{15} = 3$ л/с, $H_{бак} = 5$ м, $l_3 = 10$ м, $\varphi = 1,5$.

Визначимо повний напір установки до збільшення її подачі:

$$H = H_G + S q_{15}^2 = H_G + S_0 l_3 q_{15}^2,$$

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

При збільшенні подачі в φ разів повний напір установки зросте до величини:

$$H_1 = H_G + S \varphi^2 q_{15}^2 = 5 + 3686 \times 10^{-6} \times 10 \times 1,5^2 \times 3^2 = 5,75 \text{ м}.$$

Таким чином, при збільшенні витрати в 1,5 рази повний напір повинен зрости в 1,08 разів, щоб компенсувати збільшення витрат напору в 2,25 разів.

Додаток А

Показник	Величина показника при останній цифрі номера залікової книжки										
	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{1к}$	л/с	26	27	28	25	28	27	26	27	25	26
$Q_{2к}$	л/с	31	32	33	31	33	32	30	32	31	30
$Q_{3к}$	л/с	36	37	38	36	38	37	35	37	36	35
$Q_{4к}$	л/с	41	42	43	41	43	42	40	42	41	40
$Q_{5к}$	л/с	47	48	49	47	49	48	46	48	47	46
$H_{1к}$	м	52	51	50	52	50	51	52	51	50	52
$H_{2к}$	м	50,0	49,5	49	50	49	49,5	50	49,5	50	50
$H_{3к}$	м	48	47,5	47,5	48	47,5	47,5	48	47,5	48	48
$H_{4к}$	м	46	46	45,5	46	45,5	46	46,5	46	46	46,5
$H_{5к}$	м	44	44	43,5	44	43,5	44	44	44	44	44
l_3	м	14	15	19	16	22	19	21	18	20	17
φ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8

Контрольні питання

1. Які з названих задач не розв'язуються при аналізі роботи самопливного гідравлічного комплексу?
2. Якою аналітичною залежністю можна описати Q-H характеристику відцентрового каналізаційного насосу в межах рекомендуємої області його роботи?
3. Якою аналітичною залежністю можна описати характеристику паралельної роботи п однакових відцентрових каналізаційних насосів в межах рекомендуємої області їх роботи?
4. Від чого залежить глибина прокладання мереж водовідведення?
5. Як виконується керування запірною арматурою на мережах?

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013 (дата звернення: 15.09. 2020).
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [www.http://icswc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf](http://icswc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 28.09. 2019).
3. Эпоян С.М., Благодарная Г.И., Душкин С.С. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография. Харьков: ХНАГХ, 2013. 190 с. URL:[http:// eprints.kname.edu.ua. pdf.](http://eprints.kname.edu.ua.pdf) (дата звернення: 29.01. 2020).
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с. (Інформація та документація). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180.