

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА
ВОДОВІДВЕДЕННЯ**

Методичні вказівки до практичних занять
студентів спеціальності 192
“Будівництво та цивільна інженерія”

Запоріжжя
2019

ВСТУП

Методичні вказівки до практичних занять направлені на поглиблення теоретичних знань, одержаних на лекціях, і набуття практичних навичок розв'язування конкретних питань аналізу дії систем водопостачання та водовідведення.

Необхідність аналізу ефективності роботи систем подачі і розподілу води, а також збору і відведення стоків виникає кожного разу, коли треба знайти гідравлічні характеристики відповідної системи для видачі умов на підключення до діючої системи нових об'єктів, удосконалення окремих складових систем з метою підвищення їх економічності і надійності, а також розв'язування окремих питань реконструкції.

Методичними вказівками передбачається організація індивідуальної, а також самостійної роботи кожного студента в аудиторії (або за її межами) під керівництвом викладача. Тому кожний студент повинен, користуючись ходом рішення типової задачі, розв'язати задачу за тими даними, які він повинен вибрати по додатку на основі останньої цифри своєї залікової книжки.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №1

ТЕМА ЗАНЯТЬ: Гідравлічні характеристики елементів систем подачі і розподілу води та їх дослідження

До початку практичних занять необхідно вивчити матеріал лекцій за темою №1 (питання 1 і 2) [1]. Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Що відноситься до місцевих природних факторів, які впливають на елементи систем водопостачання і в чому цей вплив виявляється?
- В чому зміст врахування динаміки роботи комплексів?
- Як впливає на структуру системи водопостачання врахування вимог надійності?
- В чому зміст техніко-економічного розрахунку систем подачі і розподілу води?
- Охарактеризувати головні елементи систем подачі і розподілу води.
- Якою аналітичною залежністю можна описати напірно-витратну характеристику відцентрового насосу?
- Якою аналітичною залежністю можна описати напірно-витратну характеристику поршневого насосу?
- Як описуються характеристики напірних і безнапірних резервуарів?
- Яку аналітичну характеристику мають пневматичні установки?

Задача №1. Напірно-витратна характеристика відцентрового насосу описується даними Q_1-H_1 , Q_2-H_2 , Q_3-H_3 , Q_4-H_4 , Q_5-H_5 , Q_6-H_6 , числові значення яких наведено в додатку А. Описати характеристику аналітично тричленом. Оцінити відхилення апроксимації від реальної характеристики за абсолютною величиною і в відсотках і зробити висновок про доцільність такої апроксимації.

Розв'язування типової задачі

Вихідні дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі №1

Напір, м	72	70	67	65	60	57
Подача, л/с	110	125	133	139	156	167

За умовою задачі рівняння, яке описує характеристику насоса, має загальний вигляд:

$$H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2.$$

Для того, щоб користуватися цим рівнянням, необхідно за умовами задачі визначити величину коефіцієнтів a_0 , a_1 і a_2 . З цією метою треба скласти систему із трьох рівнянь за даними таблиці і розв'язати їх любим відомим студенту методом відносно невідомих коефіцієнтів.

При складанні рівнянь рекомендується величини напорів і витрат взяти на крайніх межах і в середині таблиці. Тоді система рівнянь може мати такий вигляд:

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 110 + a_2 \times 110^2 \\ 67 = a_0 + a_1 \times 133 + a_2 \times 133^2 \\ 57 = a_0 + a_1 \times 167 + a_2 \times 167^2 \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 110 + a_2 \times 12100 \\ 67 = a_0 + a_1 \times 133 + a_2 \times 17689 \\ 57 = a_0 + a_1 \times 167 + a_2 \times 27889 \end{cases}$$

Якщо від першого рівняння відняти друге, отримаємо:

$$5 = -23 a_1 - 5589 a_2 .$$

Виразимо з цього рівняння коефіцієнт a_1 через коефіцієнт a_2 і результат підставимо в третє рівняння. Тоді одержимо:

$$a_1 = - \frac{5 + 5589 a_2}{23} = -0,217 - 243 a_2 .$$

$$57 = a_0 + 167 (-0,217 - 243 a_2) + 27889 a_2 ,$$

$$57 = a_0 - 36,24 - 40581 a_2 + 27889 a_2 ,$$

$$93,24 = a_0 - 12692 a_2, \quad a_0 = 93,24 + 12692 a_2.$$

Підставимо величини a_1 і a_2 в перше рівняння:

$$72 = 93,24 + 12692 a_2 + 110 (-0,217 - 243 a_2) + 12100 a_2$$

Розв'язуючи це рівняння, отримаємо

$$0 = 21,24 + 12692 a_2 - 23,87 - 26730 a_2 + 12100 a_2 ,$$

$$0 = - 2,63 - 1938 a_2, \quad a_2 = -0,00136.$$

Підставимо a_2 в вираз для a_1 . Одержимо

$$a_1 = -0,217 + 243 \times 0,00136 = 0,11 .$$

Визначимо величину коефіцієнта a_0

$$A_0 = 93,24 - 12692 \times 0,00136 = 93,24 - 17,26 = 75,98 .$$

Тоді аналітичний вираз для характеристики буде:

$$H = 75,98 + 0,11 Q - 0,00136 Q^2 .$$

Для оцінки відхилення апроксимації від реальної характеристики визначимо напір насоса в наведених точках характеристики, користуючись отриманим рівнянням. Тоді:

при $H_1=72\text{м}$

$$H_{1p} = 75,98 + 0,11 \times 110 - 0,00136 \times 110^2 = 75,98 + 12,1 - 16,46 = 71,62 \text{ м};$$

(H_{1p} - напір, який визначено за отриманою формулою);

при $H=70\text{м}$

$$H_{2p} = 75,98 + 0,11 \times 125 - 0,00136 \times 125^2 = 75,98 + 13,75 - 21,25 = 68,48 \text{ м};$$

при $H=67\text{м}$

$$H_{3p} = 75,98 + 0,11 \times 133 - 0,00136 \times 133^2 = 75,98 + 14,63 - 24,06 = 66,55 \text{ м};$$

при $H=65\text{м}$

$$H_{4p} = 75,98 + 0,11 \times 139 - 0,00136 \times 139^2 = 75,98 + 15,29 - 26,28 = 64,99 \text{ м};$$

при $H=60\text{м}$

$$H_{5p} = 75,98 + 0,11 \times 156 - 0,00136 \times 156^2 = 75,98 + 17,16 - 33,1 = 60,04 \text{ м};$$

при $H=57\text{м}$

$$H_{6p} = 75,98 + 0,11 \times 167 - 0,00136 \times 167^2 = 75,98 + 18,37 - 37,93 = 56,42 \text{ м} .$$

Співставлення реальних і розрахункових точок доцільно звести в таблицю 2.

Таблиця 2 – Оцінка відхилення фактичних і розрахункових напорів

Напір реальний, м	72	70	67	65	60	57
Напір розрахунковий, м	71,62	68,48	66,55	64,99	60,04	56,42
Абсолютне відхилення, м	0,38	1,52	0,45	0,01	-0,04	0,58
Відносне відхилення, %	0,5	2,17	0,67	0,02	-0,07	1,02

З останньої таблиці видно, що апроксимація у вигляді тричлена дає достатню точність.

Задача №2. Для умов попередньої задачі описати характеристику аналітично двочленом, якщо в якості розрахункових витрат і напорів приймати різні пари напорів:

I варіант – крайні значення (тобто $H_1=72\text{м}$ і $H_2=57\text{м}$);

II варіант – один з крайніх значень напорів і один з середніх ($H_1=72\text{м}$ і $H_2=57\text{м}$);

III варіант – два середніх значення ($H_1=70\text{м}$ і $H_2=60\text{м}$);

IV варіант – середні коефіцієнти по трьох попередніх варіантах.

Для кожного варіанту знайти абсолютні і відносні відхилення для всіх точок характеристики, які даються в вихідних даних. Вибрати оптимальний варіант для апроксимації характеристики двочленом.

Розв'язування типової задачі

Загальний вигляд рівняння напірно-витратної характеристики при описанні її двочленом має вигляд:

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

Відповідно до умови задачі необхідно для кожного з чотирьох варіантів визначити величини коефіцієнтів a_0 і a_1 , написати відповідні рівняння, співставити величини напорів, які обчислені за цими рівняннями в характерних точках, з відповідними напорами вихідної напірно-витратної характеристики і визначити абсолютні і відносні відхилення. Після цього співставити між собою отримані для кожного варіанту відносні відхилення і зробити висновок відносно доцільності вибору розрахункових точок на характеристиці Q-H насосів.

I варіант. Система рівнянь буде мати вигляд

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 110^2 \\ 57 = a_0 + a_1 \times 167^2 \end{cases},$$

або

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 12100, \\ 57 = a_0 + a_1 \times 27889. \end{cases}$$

Віднімемо від першого рівняння друге. Отримаємо

$$\begin{aligned} 15 &= (12100 - 27889) a_1, \\ 15 &= -15789 a_1, & a_1 &= -0,00095. \end{aligned}$$

Підставимо в перше рівняння величину a_1 і знайдемо a_0 .

$$\begin{aligned} 72 &= a_0 - 0,00095 \times 12100, \\ a_0 &= 72 + 11,5 = 83,5. \end{aligned}$$

Для першого варіанту рівняння буде мати такий вигляд:

$$H = 83,5 - 0,00095 Q^2.$$

Визначимо величини напорів для відповідних точок вихідної характеристики:

при $H_1=72\text{м}$

$$H_{1p} = 83,5 - 0,00095 \times 110^2 = 83,5 - 0,00095 \times 12100 = 83,5 - 11,5 = 72\text{м};$$

при $H_2=70\text{м}$

$$H_{2p} = 83,5 - 0,00095 \times 125^2 = 83,5 - 14,84 = 68,66\text{ м};$$

при $H_3=67\text{м}$

$$H_{3p} = 83,5 - 0,00095 \times 133^2 = 83,5 - 16,80 = 66,70\text{ м};$$

при $H_4=65\text{м}$

$$H_{4p} = 83,5 - 0,00095 \times 139^2 = 83,5 - 18,35 = 65,15\text{ м};$$

при $H_5=60\text{м}$

$$H_{5p} = 83,5 - 0,00095 \times 156^2 = 83,5 - 23,12 = 60,38\text{ м};$$

при $H_6=57\text{м}$

$$H_{6p} = 83,5 - 0,00095 \times 167^2 = 83,5 - 26,49 = 57,00\text{ м}.$$

Розрахунок відхилень зводимо в таблицю 3.

Таблиця 3 – Оцінка відхилень фактичних і розрахункових напорів для I варіанту

Напір реальний, м	72	70	67	65	60	57
Напір розрахунковий, м	72	68,66	66,7	65,15	60,38	57,0
Абсолютне відхилення, м	0	1,34	0,3	-0,15	-0,38	0
Відносне відхилення, %	0	1,9	0,4	-0,2	-0,6	0

II варіант. Система рівнянь буде мати вигляд

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 12100 \\ 67 = a_0 + a_1 \times 133^2 \end{cases},$$

або

$$\begin{cases} 72 = a_0 + a_1 \times 12100, \\ 67 = a_0 + a_1 \times 17689. \end{cases}$$

Віднявши з першого рівняння друге, одержимо

$$5 = - 5589 a_1 .$$

Тоді

$$a_1 = - 0,00089.$$

Підставивши величину a_1 в перше рівняння, одержимо:

$$\begin{aligned} 72 &= a_0 - 0,00089 \times 12100, \\ 72 &= a_0 - 10,77, \quad a_0 = 82,77. \end{aligned}$$

Аналітична характеристика буде мати вигляд:

$$H = 82,77 - 0,00089 \times Q^2.$$

Знаходимо напори насоса в характерних точках:

при $H_1=72\text{м}$

$$H_{1p} = 82,77 - 0,00089 \times 110^2 = 82,77 - 10,77 = 72\text{м} ;$$

при $H_2=70\text{м}$

$$H_{2p} = 82,77 - 0,00089 \times 125^2 = 82,77 - 13,91 = 68,9 \text{ м} ;$$

при $H_3=67\text{м}$

$$H_{3p} = 82,77 - 0,00089 \times 133^2 = 82,77 - 15,74 = 67,03 \text{ м} ;$$

при $H_4=65\text{м}$

$$H_{4p} = 82,77 - 0,00089 \times 139^2 = 82,77 - 17,19 = 65,58 \text{ м} ;$$

при $H_5=60\text{м}$

$$H_{5p} = 82,77 - 0,00089 \times 156^2 = 82,77 - 21,66 = 61,11 \text{ м};$$

при $H_6=57\text{м}$

$$H_{6p} = 82,77 - 0,00089 \times 167^2 = 82,77 - 24,82 = 57,95 \text{ м}.$$

Розрахунок відхилень зводимо в табл. 4.

Таблиця 4 – Оцінка відхилень фактичних і розрахункових напорів для II варіанту

Напір реальний, м	72	70	67	65	60	57
Напір розрахунковий, м	72	68,9	67,03	65,58	61,11	57,95
Абсолютне відхилення, м	0	1,1	-0,03	-0,58	-1,11	-0,95
Відносне відхилення, %	0	1,6	-0,04	-0,9	-1,85	-1,67

Апроксимація в основному завищує напори.

III варіант. Система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} 70 = a_0 + a_1 \times 156^2 \\ 60 = a_0 + a_1 \times 167^2 \end{cases},$$

або

$$\begin{cases} 70 = a_0 + a_1 \times 15625, \\ 60 = a_0 + a_1 \times 24336. \end{cases}$$

Від першого рівняння віднімемо друге. Тоді одержимо

$$10 - (15625 - 24336)a_1 = -8711a_1,$$

Тоді

$$a_1 = -0,0011.$$

З першого рівняння знайдемо коефіцієнт a_0 :

$$\begin{aligned} 70 &= a_0 - 0,0011 \times 15625, \\ 70 &= a_0 - 17,19, \quad a_0 = 87,19. \end{aligned}$$

Аналітична характеристика в III випадку буде мати вигляд

$$H = 87,19 - 0,0011 \times Q^2.$$

Знаходимо напори насоса в характерних точках:

при $H_1=72\text{м}$

$$H_{1p} = 87,19 - 0,0011 \times 110^2 = 87,19 - 13,31 = 73,88\text{м};$$

при $H_2=70\text{м}$

$$H_{2p} = 87,19 - 0,0011 \times 125^2 = 87,19 - 17,19 = 70\text{ м};$$

при $H_3=67\text{м}$

$$H_{3p} = 87,19 - 0,0011 \times 133^2 = 87,19 - 19,46 = 67,73\text{ м};$$

при $H_4=65\text{м}$

$$H_{4p} = 87,19 - 0,0011 \times 139^2 = 87,19 - 21,25 = 65,94\text{ м};$$

при $H_5=60\text{м}$

$$H_{5p} = 87,19 - 0,0011 \times 156^2 = 87,19 - 26,77 = 60,42\text{ м};$$

при $H_6=57\text{м}$

$$H_{6p} = 87,19 - 0,0011 \times 167^2 = 87,19 - 30,68 = 56,51\text{ м}.$$

Розрахунок відхилень зводимо в табл. 5.

Таблиця 5 – Оцінка відхилень фактичних і розрахункових напорів для III варіанту

Напір реальний, м	72	70	67	65	60	57
Напір розрахунковий, м	73,88	70	67,73	65,94	60,42	56,51
Абсолютне відхилення, м	-1,88	0	-0,73	-0,94	-0,42	0,49
Відносне відхилення, %	-2,6	0	-1,1	-1,4	-0,7	0,9

Апроксимація в основному завищує напори.

IV варіант. В цьому варіанті величини a_0 і a_1 визначаються як середні по трьох попередніх значеннях, тобто:

$$a_0 = \frac{83,5 + 82,77 + 87,19}{3} = 84,49,$$
$$a_1 = \frac{-0,00095 - 0,00089 - 0,0011}{3} = -0,00098.$$

Аналітичне рівняння буде мати вигляд

$$H = 84,49 - 0,00098 \times Q^2.$$

Знаходимо напори насоса в характерних точках:

при $H_1=72\text{м}$

$$H_{1p} = 84,49 - 0,00098 \times 110^2 = 84,49 - 11,86 = 72,63\text{м};$$

при $H_2=70\text{м}$

$$H_{2p} = 84,49 - 0,00098 \times 125^2 = 84,49 - 15,31 = 69,18\text{ м};$$

при $H_3=67\text{м}$

$$H_{3p} = 84,49 - 0,00098 \times 133^2 = 84,49 - 17,33 = 67,16\text{ м};$$

при $H_4=65\text{м}$

$$H_{4p} = 84,49 - 0,00098 \times 139^2 = 84,49 - 18,93 = 65,56\text{ м};$$

при $H_5=60\text{м}$

$$H_{5p} = 84,49 - 0,00098 \times 156^2 = 84,49 - 23,85 = 60,64\text{ м};$$

при $H_6=57\text{м}$

$$H_{6p} = 84,49 - 0,00098 \times 167^2 = 84,49 - 27,33 = 57,16\text{ м}.$$

Розрахунок відхилень зводимо в табл. 6.

Таблиця 6 – Оцінка відхилень фактичних і розрахункових напорів для III варіанту

Напір реальний, м	72	70	67	65	60	57
Напір розрахунковий, м	72,63	69,18	67,16	65,56	60,64	57,16
Абсолютне відхилення, м	-0,63	0,82	-0,16	-0,56	-0,64	-0,16
Відносне відхилення, %	-0,9	1,2	-0,2	-0,9	-1,1	-0,3

Апроксимація в IV варіанті в основному завищує напори.

Порівняння отриманих результатів показує, що найбільш раціональним слід визнати перший варіант тому, що всі інші варіанти завищують напори, а відносне відхилення результатів для всіх варіантів близьке.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Елементарні комбінації в гідравлічних комплексах і їх характеристики

До практичного заняття необхідно вивчити матеріал лекцій за темою №1 (питання 3) [1].

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- З яких елементарних комбінацій складаються гідравлічні комплекси?
- В чому особливість першої елементарної комбінації і де вона частіше всього використовується?
- В чому особливість другої елементарної комбінації і яка її область використання?
- В чому особливість третьої елементарної комбінації і яка область використання?

Задача №1. Визначити, в яких межах буде змінюватися подача насоса, який забирає воду з резервуару глибиною $H_{рез}$ і подає її в резервуар такої ж глибини, якщо вісь насоса знаходиться на рівні максимальної позначки води в нижньому резервуарі, а відстань від вісі насоса до низу верхнього резервуару H_7 . Напірно-витратна характеристика насоса описується залежністю:

$$H = 84,49 - 0,00098 Q^2,$$

опір всмоктувальної лінії $S_{вс}$, а напірної лінії – S_H . Чисельні значення прийняти згідно з додатком А.

Розв'язування типової задачі

Дано: $H_{рез} = 4\text{м}$, $H_7 = 50\text{м}$, $S_{вс} = 10^{-4}$ (для витрат в л/с),

$S_H = 4 \times 10^{-4}$ (для витрат в л/с).

Схема елементарної комбінації приведена на рис.2.

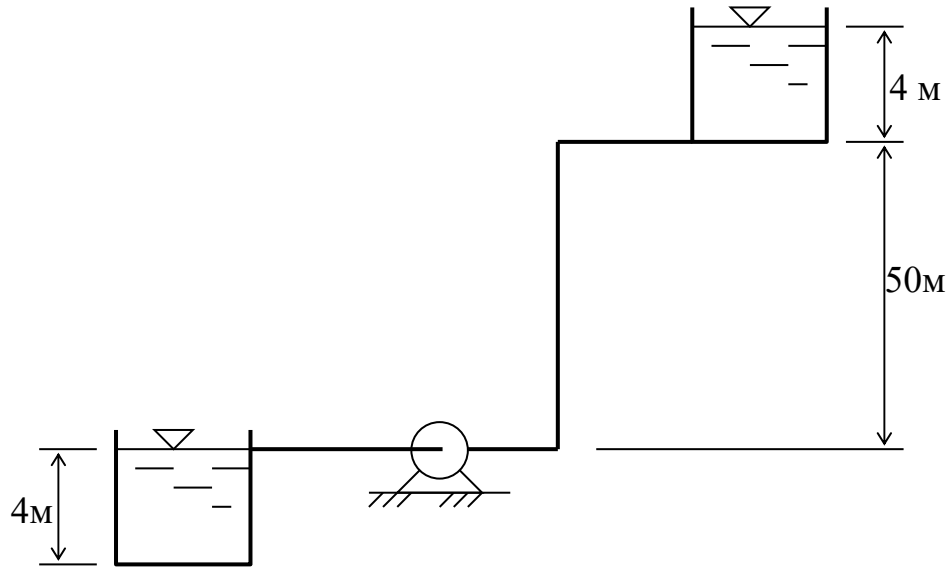


Рисунок 2.1 – Схема першої комбінації елементів в комплексах

Необхідний повний напір насоса дорівнює

$$H = H_{Г.В.} + H_{Г.Н.} + S_{вс}Q^2 + S_H Q^2 = H_{Г.П.} + (S_{вс} + S_H)Q^2.$$

Найбільша витрата буде подаватись насосом, коли геометрична висота підйому буде мінімальною, тобто коли $H_{Г.П.}=50$ м, а найменша витрата буде при найбільшій геометричній висоті підйому, тобто

$$H_{Г.П.} = 50 + 4 + 4 = 58 \text{ м.}$$

Тоді характеристика елементарної комбінації при максимальній подачі може бути описана системою рівнянь

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 50 + (0,0001 + 0,0004)Q^2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 50 + 0,0005 Q^2. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, одержимо

$$\begin{aligned} 0 &= 34,49 - 0,00148 Q^2, \\ Q^2 &= 34,49 / 0,00148 = 23304, \\ Q_{\text{макс}} &= 152,7 \text{ л/с.} \end{aligned}$$

При мінімальній подачі характеристика елементарної комбінації описується системою рівнянь

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 58 + 0,0005 Q^2. \end{cases}$$

Віднявши з першого рівняння друге отримаємо

$$0 = 26,49 - 0,00148 Q^2.$$

Звідки

$$Q^2 = 26,49 / 0,00148 = 17899,$$

$$Q_{\max} = 133,8 \text{ л/с}.$$

Таким чином, при перекачці води з одного резервуара в інший для умов задачі подача насосу буде змінюватися в межах 133,8...152,7л/с.

Задача №2. Розв'язати попередню задачу за умовою, що на напірній лінії є два фіксованих відбора: перший з витратою Q_7 на відстані від насосної станції, яка еквівалента повному опоріві S_1 , другий з витратою Q_8 на відстані від першого відбору, еквівалентній повному опоріві S_2 . Чисельні значення прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Припустимо, що $Q_7=20\text{л/с}$, $S_1=2 \times 10^{-4}$ (для витрати в л/с), $Q_8=30\text{л/с}$, а $S_2=1 \times 10^{-4}$ (для витрати в л/с).

По аналогії з попередньою задачею при максимальній подачі характеристика елементарної комбінації буде описуватися системою рівнянь

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 50 + S_{\text{вс}} Q^2 + S_1 Q^2 + S_2 (Q - 20)^2 + (S_H - S_1 - S_2)(Q - 20 - 30)^2. \end{cases}$$

Підставивши величини опорів в систему, отримаємо

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 50 + 0,0001 Q^2 + 0,0002 Q^2 + 0,0001(Q^2 - 40Q + 400) + 0,0001(Q^2 - 100Q + 2500). \end{cases}$$

Спростуючи друге рівняння, одержимо

$$H = 50 + (0,0001 + 0,0002 + 0,0001 + 0,0001)Q^2 - (0,004 + 0,01)Q + 0,04 + 0,25,$$

$$H = 50 + 0,0005Q^2 - 0,014Q + 0,29.$$

Тоді система, що описує елементарну комбінацію, буде мати вигляд

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 50,29 - 0,014 Q + 0,0005 Q^2. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримаємо

$$\begin{aligned}0,00148Q^2 - 0,014Q - 34,2 &= 0, \\ Q^2 - 9,46Q - 23108 &= 0, \\ Q &= \frac{9,46}{2} \pm \sqrt{(9,46/2)^2 + 23108} = 4,73 \pm \sqrt{22,37 + 23108} = 4,73 \pm 152,01\end{aligned}$$

Фізичний зміст має тільки позитивний результат.

Тоді при максимальній подачі в систему буде надходити

$$Q_{\text{макс}} = 4,73 + 152,09 = 156,82 \text{ л/с.}$$

При мінімальній подачі характеристика системи описується такою системою рівнянь

$$\begin{cases} H = 84,49 - 0,00098 Q^2, \\ H = 58,29 - 0,014 Q + 0,0005 Q^2. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримаємо

$$\begin{aligned}0,00148Q^2 - 0,014Q - 26,2 &= 0, \\ Q^2 - 9,46Q - 17703 &= 0, \\ Q &= 4,73 \pm \sqrt{4,73^2 + 17703} = 4,73 \pm \sqrt{17725} = 4,73 \pm 133,13\end{aligned}$$

Мінімальна подача насоса буде

$$Q_{\text{мін}} = 4,73 + 133,13 = 137,86 \text{ л/с.}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Загальний аналіз найпростішої системи

До початку практичного заняття необхідно вивчити матеріал лекцій за темою №2 (питання 3) [1].

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Що таке найпростіша система і чим вона характеризується?
- Як впливає величина відбору між водоживлювачами на характер руху води між ними?
- Що таке критична витрата і від чого вона залежить?
- Від чого залежить максимальна витрата, яка може бути відібрана з системи?

Задача №1. Визначити, при якій максимальній витраті буде спостерігатися перетік з гірського резервуара №1, який розташовано вище, в нижній резервуар, якщо відстань між розрахунковими рівнями води в них дорівнює ΔH . Загальний опір водогонів від резервуара №1 до точки відбору S_4 , а від точки відбору до резервуара №2 – S_5 . Чисельні величини вихідних даних прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Дано: $\Delta H=20\text{м}$, $S_4=27$ (для витрати в $\text{м}^3/\text{с}$), $S_5=29$ (для витрати в $\text{м}^3/\text{с}$).

Найпростіша схема має вигляд, який показано на рис. 4.

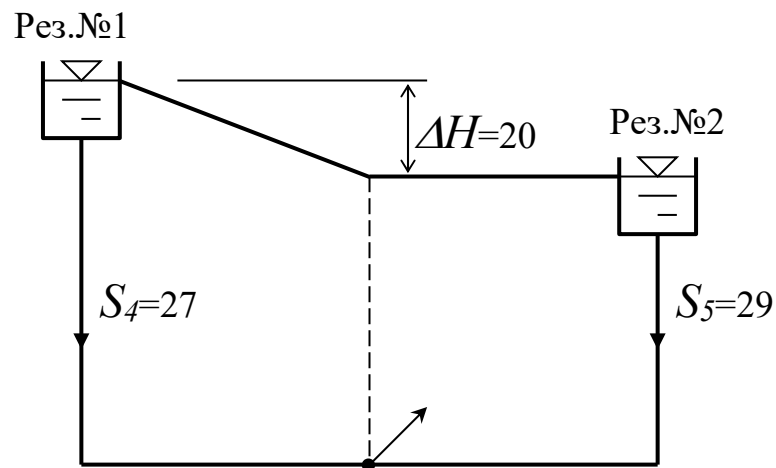


Рисунок 3.1 – Система з двома резервуарами

Перетік з одного резервуару в другий буде спостерігатися у тому випадку, коли витрата в системі буде трохи меншою критичної витрати, яка визначається за формулою:

$$Q_{кр} = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{S_4}} = \sqrt{\frac{\Delta H}{S_4}} = \sqrt{\frac{20}{27}} = 0,86 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Якщо прийняти за мінімальну витрату, яка може надходити в резервуар №2, $Q_{мін}=1\text{л/с}$, то перетік з одного резервуару в другий буде спостерігатися у всіх випадках, коли

$$Q_i \leq Q_{кр} - Q_{мін} = 0,860 - 0,001 = 0,859 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача №2. За умовами попередньої задачі визначити, яка максимальна витрата може бути подана в населений пункт, який знаходиться в долині між обома резервуарами на позначках, які на 25м менше позначки рівня води в нижчому резервуарі. Допустимий мінімальний вільний напір в населеному пункті 18м.

Розв'язування типової задачі

Максимальна витрата, яка може бути подана в систему, визначається за формулою:

$$Q_{макс} = Q_{макс.1} + Q_{макс.2},$$

де $Q_{макс.1}$ і $Q_{макс.2}$ – можливі максимальні витрати води від першого і другого резервуарів відповідно.

$$Q_{макс.1} = \sqrt{\frac{H_1 - H_{в\ мін}}{S_4}},$$

де $H_{в\ мін}$ – допустимий мінімальний вільний напір в населеному пункті,

$$H_{в\ мін} = 18\text{м};$$

H_1 - висота резервуару №1 відносно населеного пункту

$$H_1 = \Delta H + 25 = 20 + 25 = 45 \text{ м}.$$

Тоді

$$Q_{макс.1} = \sqrt{\frac{45-18}{27}} = 1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Максимальна витрата, яка може бути подана до резервуару №2, буде

$$Q_{\text{макс.2}} = \sqrt{\frac{H_2 - H_{\text{в мін}}}{S_5}} = \sqrt{\frac{25-18}{29}} = 0,491 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким чином, в населеному пункті обидва резервуари можуть подати витрату не більше

$$Q_{\text{макс.}} = 1 + 0,491 = 1,491 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача №3. Для умов попередньої задачі визначити, якими повинні бути діаметри водогонів із сталевих труб при подачі води від резервуару №1 і №2, якщо їх довжини відповідно будуть l_1 і l_2 . Чисельні величини вихідних даних прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Дано: $l_1=5\text{км}$, $l_2=2\text{км}$, інші необхідні дані прийняти за результатами розв'язання попередньої задачі.

Діаметри відповідних водогонів визначаються, виходячи із наступних міркувань:

- треба спочатку визначити, які втрати напорів будуть в водогонах h ;
- враховуючи, що втрати напору пов'язані з діаметром залежністю

$$h = SQ^2 = S_0 l Q^2,$$

при відомих h , l і Q знайти S_0 , по якому можна визначити діаметри.

Втрати напору в водогонах від резервуару №1 до населеного пункту при максимальній витраті будуть

$$h_1 = H_1 - H_{\text{в мін}} = 45 - 18 = 27 \text{ м}.$$

Втрати напору в водогоні від резервуару №2 до населеного пункту при максимальній витраті

$$h_2 = H_2 - H_{\text{в мін}} = 25 - 18 = 7 \text{ м}.$$

Питомий опір для першого водогону повинен бути не більшим

$$S_{01} = h_1 / (l_1 Q_{1 \text{ макс}}^2) = 27 / (5000 \times 1^2) = 0,0054 \text{ (для витрати в м}^3/\text{с)}.$$

Згідно з таблицями Шевельова Ф.А. [2] у ненових сталевих труб $d=800\text{мм}$ $S_{01}=0,005514$, а $d=900\text{мм}$ – $S_{01} = 0,002962$. Таким чином, від першого резервуару до населеного пункту водогін частково приймається $d=900\text{мм}$, а частково 800мм так, щоб загальні втрати в ньому були 27 м, тобто,

$$h_1 + h_2 = 27,$$

де h_1 і h_2 - втрати напору в водогоні $d=800\text{мм}$ і $d=900\text{мм}$ відповідно.

$$S_{01} l'_1 Q^2_{1\text{ макс}} + S'_{01} (5000 - l'_1) Q^2_{1\text{ макс}} = 27,$$

де S_{01} і S'_{01} - питомі опори частини водогону $d=800\text{мм}$ і $d=900\text{мм}$ відповідно;

l'_1 - довжини водогону $d=800\text{мм}$, м;

$500 - l'_1$ - довжина водогону $d=900\text{мм}$, м.

Тоді

$$0,005514 l'_1 \times 1^2 + 0,002962 (5000 - l'_1) \times 1^2 = 27;$$

$$(0,005514 - 0,002962) l'_1 = 27 - 0,002962 \times 5000;$$

$$0,002552 l'_1 = 12,19.$$

Звідки довжина ділянки $d=800\text{мм}$ буде 4776 м. Тоді перші 224 м водогону повинні бути $d=900\text{мм}$.

Аналогічно визначаємо діаметр водогону від другого резервуару до населеного пункту

$$S_{02} = h_2 / (l_2 Q^2_{2\text{ макс}}) = 7 / (2000 \times 0,491^2) = 0,01452 \text{ (для витрати в м}^3\text{/с)}.$$

Згідно з таблицями Шевельова Ф.А. [2] у ненових сталевих труб $d=600\text{мм}$ $S_{02}=0,02262$, а $d=700\text{мм}$ – $S_{02} = 0,01098$. Тоді

$$S_{02} l'_2 Q^2_{2\text{ макс}} + S'_{02} (2000 - l'_2) Q^2_{2\text{ макс}} = 7,$$

$$0,02262 l'_2 \times 0,491^2 + 0,01098 (2000 - l'_2) \times 0,491^2 = 7;$$

$$(0,005453 - 0,002647) l'_2 = 7 - 5,29;$$

$$l'_2 = 609\text{м}.$$

Таким чином, довжина ділянки $d=600\text{мм}$ повинна бути 609 м, а ділянки $d=700\text{мм}$ – 1391 м.

Задача №4. Для умов попередньої задачі і результатів її розв'язання розрахувати і побудувати графік сумісної роботи двох резервуарів на загальну мережу. Визначити межі характерних режимів.

Розв'язування типової задачі

Щоб побудувати графік сумісної роботи резервуарів, необхідно скорегувати їх характеристики на втрати напору на шляху від резервуару до точки відбору. Для цього необхідно з характеристики резервуару $H=const$ вирахувати втрати напору в водогоні, тобто,

$$H_{li} = H_l - h_i = H_l - (S'_l + S''_l) q_i^2,$$

де H_l – висота першого резервуару,

h_{0-i} - втрати напору в водогоні від першого резервуару до точки відбору при витраті в ньому q_i ,

S'_l і S''_l - загальний опір кожної з ділянок водогону при витраті q_i .

$$S_l = S_{0l} l,$$

S_{0l} і l – питомий опір і довжина відповідної ділянки.

Для побудовання графіка розраховується допоміжна таблиця 8. З цією ціллю необхідно максимально можливу подачу розбити на кілька відрізків, які повинні бути кратними 100л/с (або 10 л/с при малих подачах) і для кожного визначити втрати напору в водогоні.

За умовами попередньої задачі від першого (вищого) резервуару вода подається в мережу спочатку водогоном $d=900$ мм з $S_0=0,002962$ довжиною 224 м, а потім водогоном $d=800$ мм з $S_0=0,005514$ (для витрат в м³/с) довжиною 4776 м. Тоді

$$h_i = (0,002962 \times 224 + 0,005514 \times 4776) q_i^2 = 26,9984 q_i^2$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок елементів характеристики першого резервуару

Витрата $q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$h_i, \text{ м}$	1,08	4,32	9,72	17,28	27,0
$H_{1i} = H_1 - h_i, \text{ м}$	43,92	40,68	35,28	27,72	18,0

Від другого резервуару вода подається спочатку трубопроводом $d=700\text{мм}$ з $S_0=0,01098$ довжиною 1391 м, а потім трубопроводом $d=600\text{мм}$ з $S_0=0,002262$ довжиною 609 м. Тоді

$$h'_i = (0,01098 \times 1391 + 0,002262 \times 609) q_{i1}^2 = 29,0486 q_{i1}^2 .$$

Максимальна подача від другого резервуару $0,491 \text{ м}^3/\text{с}$.

Допоміжна таблиця розраховується аналогічно першому резервуару.

Таблиця 3.2 – Розрахунок елементів характеристики другого резервуару

Витрата $q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$h'_i, \text{ м}$	0,29	1,16	2,61	4,65	7,26
$H_{2i} = H_2 - h'_i, \text{ м}$	24,71	23,84	22,39	20,35	17,74

За даними таблиць 8 і 9 будується графік, що має вигляд, який приведено на рис. 5.

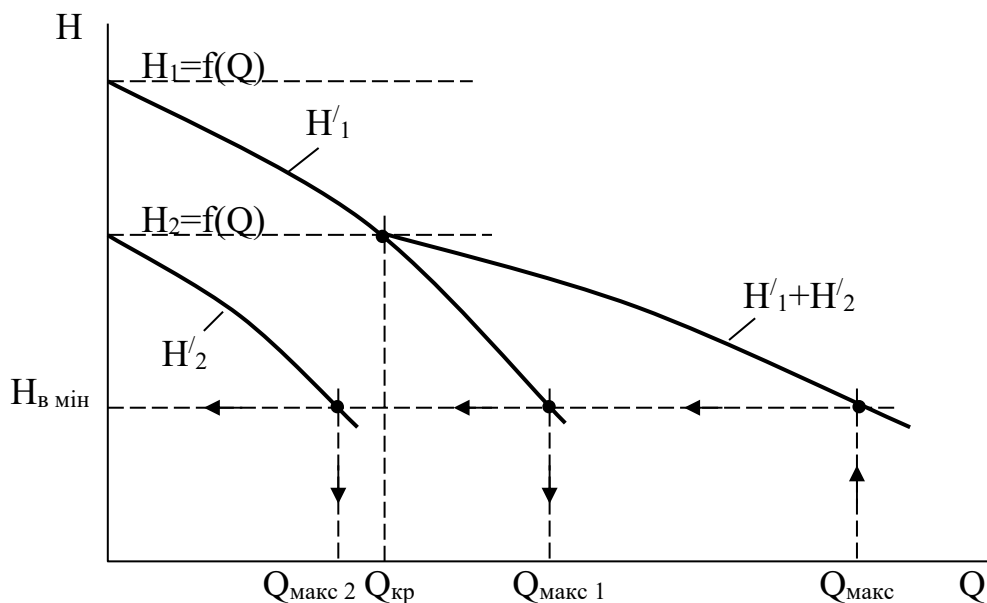


Рисунок 3.2 – Графік сумісної роботи двох резервуарів на загальну мережу

На графіку сумісної роботи крива H'_1 будується за величинами H_{1i} (табл.8), крива H'_2 – за величинами H_{2i} (табл.9), крива $(H'_1 + H'_2)$ – шляхом складання абсцис кривих H'_1 і H'_2 при постійних дискретних значеннях ординат. Максимальне надходження з кожного із резервуарів можна знайти, якщо з точки Q_{\max} провести вертикальну лінію до перетину з кривою $(H'_1 + H'_2)$, а потім провести горизонтальну лінію до перетину з кривими H'_1 і H'_2 . Ця лінія буде також на висоті мінімально допустимого вільного напору в мережі.

Точка, з якої обидва резервуари стануть водоживлювачами, відповідає критичній витраті. До $Q_{\text{кр}}$ вода буде перетікати з одного резервуару в другий, а при $Q > Q_{\text{кр}}$ вода в систему буде надходити з обох резервуарів.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №4

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Аналіз роботи розгалуженої мережі з напірними резервуарами

До початку практичного заняття необхідно вивчити матеріал лекцій за темою №2 (питання 3) [1].

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Що таке найпростіша система і чим вона характеризується?
- Як впливає величина відбору між водоживлювачами на характер руху води між ними?
- Що таке критична витрата і від чого вона залежить?
- Від чого залежить максимальна витрата, яка може бути відібрана з системи?

Задача №1. Побудувати графік зміни витрати води, яка надходить в бак для запасу води висотою $H_{\text{бак}}$, $Q=f(H_{\text{бак}})$. Вода поступає в бак по трубопроводу $d=100\text{мм}$, який вварено в нього на рівні дна. Тиск на виході із труби на початку заповнення p_n . Чисельні значення прийняти згідно з додатком А.

Розв'язування типової задачі

Припустимо, що висота баку 4м, а напір на початку його заповнення був бм.вод.ст. Запасний бак при тому способі подачі в нього води, який указано в умовах задачі, буде працювати в режимі нефіксованого відбору. Величина витрати, яка надходить в бак, визначається залежністю

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_{\text{бак}}},$$

де $\mu=0,62$ – коефіцієнт витрати,

ω - площа перерізу отвору

$$\omega = \pi D^2/4 = 3,14 \times 0,1^2/4 = 0,00785 \text{ м}^2.$$

Тоді формула для витрати води, яка надходить в бак, буде мати вигляд

$$Q = 0,62 \times 0,00785 \sqrt{2gH_{\text{бак}}} = 0,0216 \sqrt{H_{\text{бак}}}.$$

Знаходимо величини витрат води при різних рівнях заповнення баку. Для цього необхідно послідовно задаватися глибиною води в ньому і для кожної глибини визначати витрату води, що надходить в бак. Кількість розрахункових

глибин не повинна бути меншою трьох. Розрахунок графіка доцільно зводити в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок залежності $Q=f(H_0)$

Глибина води в баці, м	0	1	2	3	4
Напір на виході з труби, м	6	5	4	3	2
Надходження води в бак, л/с	52,9	48,3	43,2	37,4	30,5

Користуючись цією таблицею будуюмо графік функції $Q=f(H_{бак})$ (рис.1).

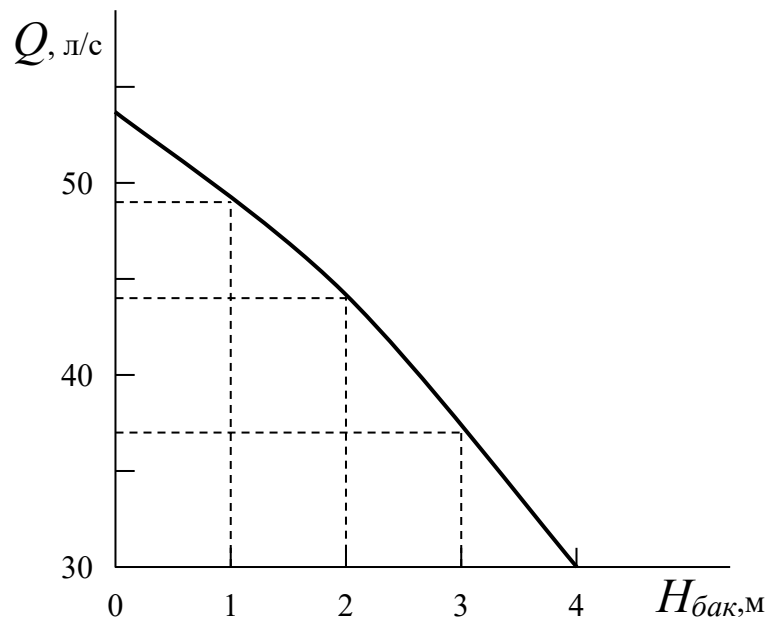


Рисунок 4. 1 – Залежність $Q=f(H)$

Задача № 2. Визначити подачу і напір кожної з двох насосних станцій (рис.3), які працюють послідовно і на яких встановлено однакові насоси з напірно-витратною характеристикою, що описується рівнянням

$$H = 84,49 - 0,00098 Q^2 ,$$

якщо відбори в вузлах №1 і №2 складають відповідно Q_7 і Q_8 , а загальні опори окремих ділянок однакові і дорівнюють S_3 . Перевищення рівня води в резервуарі над віссю насосів насосної станції №2 - ΔZ_1 , перевищення вісі насосів насосної станції №2 над віссю насосів насосної станції №1 - ΔZ_2 . Вісь насосів насосної станції №1 знаходиться на позначці рівня води в джерелі. Втратами у всмоктувальній лінії насосної станції №1 знехтувати. Чисельні значення вихідних даних прийняти згідно з додатком А.

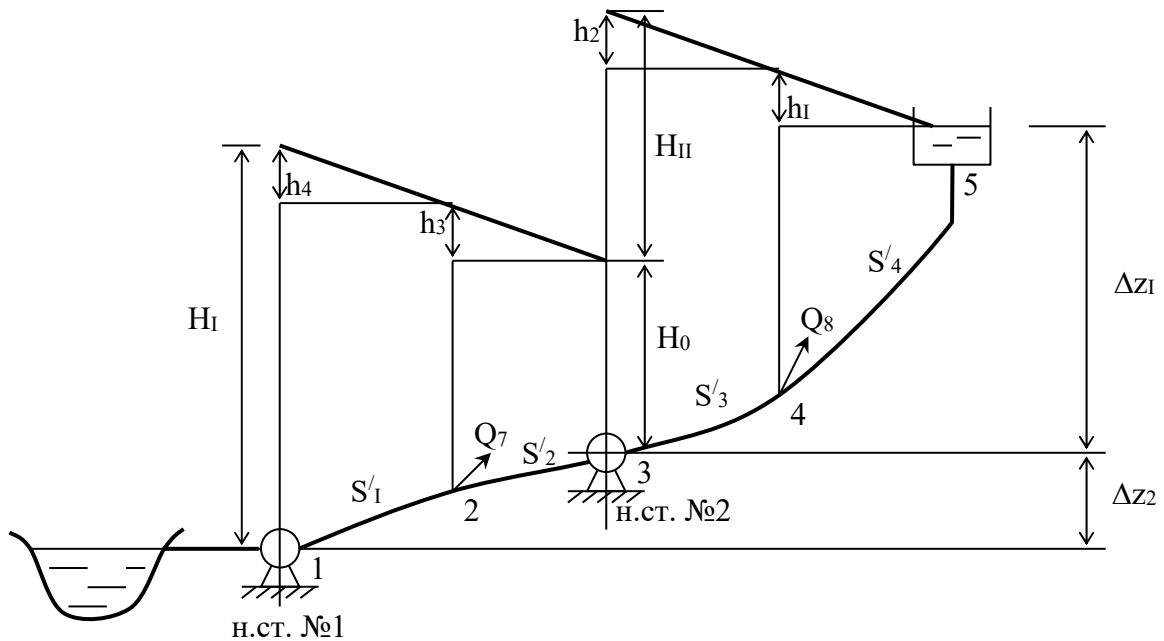


Рисунок 4.2 – Схема третьої комбінації елементів в комплексах

Розв'язування типової задачі

Вихідні дані для типової задачі:

$$Q_7 = 20 \text{ л/с}, Q_8 = 30 \text{ л/с}, S_3 = 0,002 \text{ (для } Q \text{ в л/с)}, \Delta Z_1 = 50 \text{ м}, \Delta Z_2 = 60 \text{ м}.$$

Для наведеної на рис.3 схеми справедливі рівняння

$$H_0 + \Delta Z_2 = H_I - S'_1 Q_I^2 - S'_2 (Q_I - Q_7)^2,$$

$$H_0 + \Delta Z_2 = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + S'_4 (Q_I - Q_7 - Q_8)^2 + S'_3 (Q_I - Q_7)^2 - H_{II}.$$

Тоді

$$H_I - S'_1 Q_I^2 - S'_2 (Q_I - Q_7)^2 = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + S'_4 (Q_I - Q_7 - Q_8)^2 + S'_3 (Q_I - Q_7)^2 - H_{II}.$$

Враховуючи, що за умовами задачі

$$S'_1 = S'_2 = S'_3 = S'_4 = S_3,$$

одержимо

$$\begin{aligned} H_I - S_3 (Q_I^2 + Q_I^2 - 2Q_I Q_7 + Q_7^2) = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + S_3 (Q_I^2 - Q_7 Q_I - \\ - Q_8 Q_I - Q_7 Q_I + Q_7^2 + Q_7 Q_8 - Q_8 Q_I + Q_7 Q_8 + Q_8^2 - Q_I^2 - \\ - 2Q_I Q_7 + Q_7^2) - H_{II}. \end{aligned}$$

Спростуючи цей вираз, отримаємо

$$H_I - S_3 (2Q_I^2 - 2Q_I Q_7 + Q_7^2) = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + S_3 (2Q_I^2 - 4Q_I Q_7 - 2Q_8 Q_I + 2Q_7^2 + 2Q_7 Q_8 + Q_8^2) - H_{II}.$$

Напори насосів описуються виразами

$$H_I = 84,49 - 0,00098 Q_I^2,$$

$$H_{II} = 84,49 - 0,00098 (Q_I - Q_7)^2.$$

Підставивши всі числові значення в загальний вираз, який описує роботу елементарної схеми, одержимо:

$$\begin{aligned} & 84,49 - 0,00098 Q_I^2 - 2 \times 0,0002 Q_I^2 + 2 \times 0,0002 \times 20 Q_I + 0,0002 \times 20^2 = \\ & = 50 + 60 + 2 \times 0,0002 Q_I^2 - 4 \times 0,0002 \times 20 Q_I - 2 \times 0,0002 \times 30 Q_I + \\ & + 2 \times 0,0002 \times 20^2 + 2 \times 0,0002 \times 20 \times 30 + 0,002 \times 30^2 - 84,49 + 0,00098 (Q_I - 20)^2 ; \\ & 84,49 - 0,00098 Q_I^2 - 0,0004 Q_I^2 + 0,008 Q_I + 0,08 = \\ & = 110 + 0,0004 Q_I^2 - 0,016 Q_I - 0,012 Q_I + 0,16 + 0,24 + 0,18 - \\ & - 84,49 + 0,00098 Q_I^2 - 2 \times 0,00098 \times 20 Q_I + 400 \times 0,00098; \\ & 58,09 + 0,0752 Q_I - 0,00276 Q_I^2 = 0; \\ & Q_I^2 - 27,25 Q_I - 21047 = 0; \\ & Q_I = 27,25/2 \pm \sqrt{(27,25/2)^2 + 21047} = 13,63 \pm \sqrt{185,78 + 21047} = \\ & = 13,65 \pm \sqrt{21233} = 13,65 \pm 145,71; \end{aligned}$$

$$Q_I = 159,36 \text{ л/с}.$$

Напір насосів насосної станції №1 буде

$$H_I = 84,49 - 0,00098 \times 159,36^2 = 84,49 - 24,89 = 59,6 \text{ м.}$$

Подача насосів насосної станції №2 дорівнює

$$Q_{II} = Q_I - Q_7 = 159,36 - 20 = 139,36 \text{ л/с,}$$

а напір

$$H_{II} = 84,49 - 0,00098 \times 139,36^2 = 84,49 - 19,03 = 65,46 \text{ м.}$$

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №5.

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Перевірочні розрахунки водопровідних мереж

До початку практичних занять необхідно вивчити матеріал лекцій за темою2 [1].

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- В чому особливість перевірочних розрахунків водопровідних мереж?
- Які групи рівнянь можна скласти для розв'язування задач перевірочних розрахунків?
- Які групи рівнянь необхідно використовувати при розрахунках розгалужених мереж з одним водоживлювачем?
- Коли для визначення витрат кожної з ділянок розгалуженої мережі достатньо рівнянь тільки першої групи?
- В якому випадку для перевірочних розрахунків розгалужених мереж необхідно використовувати рівняння четвертої групи (рівняння зовнішньої ув'язки)?
- В чому особливість перевірочних розрахунків водопровідних мереж при наявності в них регулюючих ємностей?
- В чому особливість перевірочних розрахунків водопровідних мереж, в яких є замкнуті контури?

Задача №1. Перевірити працездатність схеми водопостачання, яка зображена на рис.6. Напірно-витратна характеристика насосної станції описується виразом

$$H = 45,06 - 0,00287 Q^2,$$

а висота башти H_B . Чисельні величини витрат і загальних опорів окремих ділянок прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Нехай мережа характеризується такими даними:

$$q_1=25\text{л/с}, q_2=20\text{л/с}, q_3=15\text{л/с}, S_{H-1}=0,0035 \text{ (при } Q \text{ в л/с)}, S_{1-2}=0,003,$$

$$S_{2-3}=0,0025, S_{3-B}=0,001, H_B = 35 \text{ м.}$$

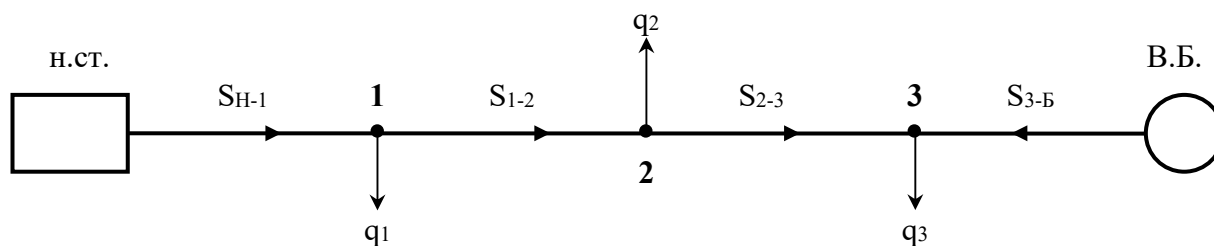


Рисунок 5.1 – Схема мережі

Наведена схема водопровідної мережі буде працездатною в тому випадку, коли в ній будуть виконуватися закони гідравліки. При напрямках руху води, які вказані на рис.6, повинна виконуватись умова

$$H - S_{H-1} q_{H-1}^2 - S_{1-2} q_{1-2}^2 - S_{2-3} q_{2-3}^2 = H_B - S_{3-Б} q_{3-Б}^2 .$$

Це рівняння являється рівнянням зовнішньої ув'язки (четвертої групи). Витрати окремих ділянок мережі можна визначити через подачу насосної станції і вузлові відбори:

$$q_{H-1} = Q_H, \quad q_{1-2} = Q_H - q_1, \quad q_{2-3} = Q_H - q_1 - q_2, \\ q_{3-Б} = Q_H - q_1 - q_2 - q_3 , \\ \text{де } Q_H - \text{подача насосної станції;} \\ q_1, q_2, q_3 - \text{вузлові відбори.}$$

Використавши ці співвідношення і підставивши в перше рівняння числові величини, отримаємо

$$45,06 - 0,00287Q_H^2 - 0,0035Q_H^2 - 0,003(Q_H - 25)^2 - 0,0025(Q_H - 25 - 20)^2 - 35 + 0,001(Q_H - 25 - 20 - 15)^2 = 0 .$$

Розв'язуючи це рівняння, одержано

$$10,06 - 0,00637Q_H^2 - 0,003(Q_H^2 - 50Q_H + 625) - 0,0025(Q_H^2 - 90Q_H + 2025) + \\ + 0,001(Q_H^2 - 120Q_H + 3600) = 0 ;$$

$$10,06 - 0,00637Q_H^2 - 0,003Q_H^2 + 0,15Q_H - 1,875 - 0,0025Q_H^2 + \\ + 0,225Q_H - 5,06 + 0,001Q_H^2 - 0,12Q_H + 3,6 = 0;$$

$$- 0,01087Q_H^2 + 0,255Q_H + 6,725 = 0;$$

$$Q_H^2 - 23,46Q_H - 619 = 0;$$

$$Q_H = 11,73 \pm \sqrt{11,73^2 + 619} = 11,73 \pm 27,50 .$$

Коренями цього рівняння будуть величини

$$Q'_H = 39,23 \text{ л/с} \quad \text{і} \quad Q''_H = -15,78 \text{ л/с.}$$

Але від'ємною витрата не може бути. Тому подача насосної станції буде 39,23 л/с. При цьому надходження з башти буде:

$$Q_B = \sum q_i - Q_H = (25 + 20 + 15) - 39,23 = 20,77 \text{ л/с.}$$

При такому розподілі подач між водоживлювачами в вихідній схемі в вузлах 2 і 3 не витримується умова $\sum q_{вузл} = 0$. Тому наведена схема не буде працездатною. Перевіримо, чи буде вона працездатною, якщо напрям руху води на ділянці 2-3 змінити на протилежний. Тоді схема приймає вигляд (рис. 7).

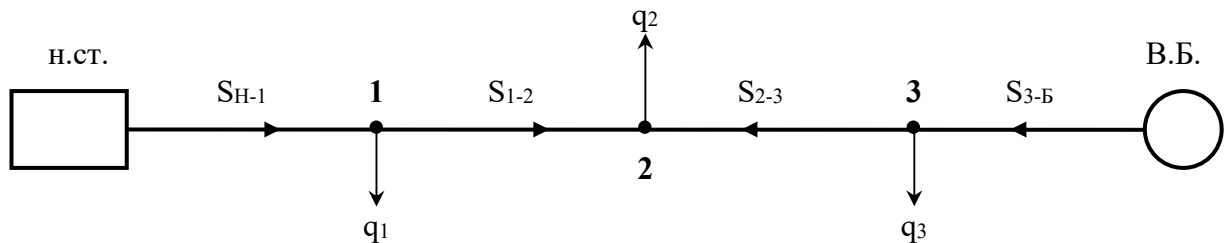


Рисунок 5.2 – Скорегована розрахункова схема

Якщо насосна станція буде подавати $Q_H = 39,23 \text{ л/с}$, напір її буде

$$H = 45,06 - 0,00287 Q^2 = 45,06 - 0,00287 \times 39,23^2 = 40,64 \text{ м.}$$

Тоді вільний напір в вузлі 2, який визначається напором насосної станції, буде дорівнювати

$$\begin{aligned} H_{2H} &= 40,64 - S_{H-1} Q_H^2 - S_{1-2} (Q_H - q_1)^2 = \\ &= 40,64 - 0,0035 \times 39,23^2 - 0,003 (39,23 - 25)^2 = 40,64 - 5,39 - 0,61 = 34,64 \text{ м.} \end{aligned}$$

Вільний напір в вузлі 2, який визначається напором водонапірної башти, буде

$$\begin{aligned} H_{2B} &= 35 - S_{3-Б} q_{3-Б}^2 - S_{2-3} q_{2-3}^2 = 35 - S_{3-Б} Q_B^2 - S_{2-3} (Q_B - q_3)^2 = \\ &= 35 - 0,001 \times 20,77^2 - 0,0025 \times (20,77 - 15)^2 = 34,49 \text{ м.} \end{aligned}$$

Напори в вузлі сходу потоків в межах точності розрахунку від різних водоживлювачів співпадають, тому такий режим роботи можливий.

Задача №2. Перевірити, чи можливо підключити до тупикової ділянки дворової мережі (вузол 1), яка наведена на рис.8, п'ятиповерховий будинок з витратою 5 л/с. Якщо напору не вистачає, визначити наскільки його необхідно підняти для нормального водопостачання. Величини витрат, загальних опорів, позначки землі Z_I і п'езометричної позначки Π_I прийняти згідно з додатком А.

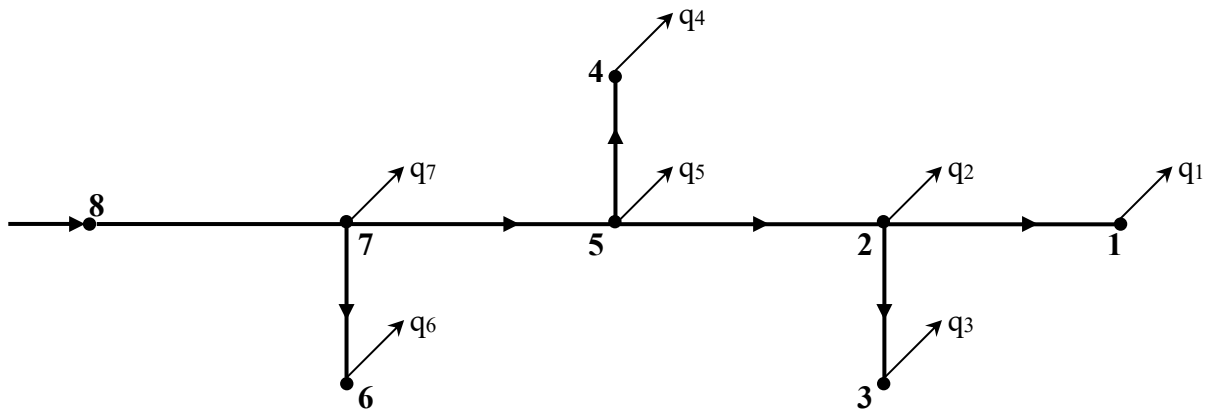


Рисунок 5.3 – Мережа, до якої повинен підключатися новий будинок

Розв'язування типової задачі

Припустимо, що мережа характеризується такими даними:

$$S_{1-2} = 0,002, S_{2-5} = 0,002, S_{5-7} = 0,003, S_{7-8} = 0,003 \text{ (для витрат в м}^3\text{/с), } q_1 = 4\text{л/с,}$$

$$q_2 = 3\text{л/с, } q_3 = 2\text{л/с, } q_4 = 5\text{л/с, } q_5 = 2\text{л/с, } q_6 = 4\text{л/с, } q_7 = 3\text{л/с, } Z_I = 40\text{м, } \Pi_I = 66\text{м.}$$

Визначаємо розрахункові витрати на головній магістралі без врахування підключення в вузлі 1 нового будинку. Одержимо

$$q'_{1-2} = 4\text{л/с, } q'_{2-5} = 9\text{л/с, } q'_{5-7} = 16\text{л/с, } q'_{7-8} = 23\text{л/с.}$$

При підключенні в вузлі 1 нового будинку витрати на ділянках стануть рівними:

$$q_{1-2} = 9\text{л/с, } q_{2-5} = 14\text{л/с, } q_{5-7} = 21\text{л/с, } q_{7-8} = 28\text{л/с.}$$

Найдемо п'езометричну позначку в початковій точці 8 без підключення нового будинку

$$\begin{aligned} \Pi'_8 &= \Pi'_1 + h'_{1-2} + h'_{2-5} + h'_{5-7} + h'_{7-8} = \\ &= 66 + 0,002 \times 4^2 + 0,002 \times 9^2 + 0,003 \times 16^2 + 0,003 \times 23^2 = 66 + 0,03 + 0,16 + 0,77 + 1,59 = 68,55\text{м.} \end{aligned}$$

Визначаємо п'єзометричну позначку в вузлі 8, яка необхідна для забезпечення нормального водопостачання нового будинку.

$$P_8 = Z_1 + H_{5 \text{ нов.}} + h_{1-2} + h_{2-5} + h_{5-7} + h_{7-8}$$

де Z_1 – позначка поверхні землі в вузлі 1, $Z_1=40\text{м}$;

$H_{5 \text{ нов.}}$ - необхідний вільний напір для п'ятиповерхового будинку

$$H_{5 \text{ нов.}} = 6 + 4n = 6 + 4 \times 5 = 26 \text{ м,}$$

h_{1-2} , h_{2-5} , h_{5-7} , h_{7-8} - втрати напору на ділянках при витратах на них з врахуванням витрати на будинок, який необхідно підключити до мережі .

$$h_{i-j} = S_{i-j} q^2_{i-j} ,$$

$$h_{1-2} = S_{1-2} q^2_{1-2} = 0,002 \times 9^2 = 0,16 \text{ м,}$$

$$h_{2-5} = S_{2-5} q^2_{2-5} = 0,002 \times 14^2 = 0,39 \text{ м,}$$

$$h_{5-7} = S_{5-7} q^2_{5-7} = 0,003 \times 21^2 = 1,32 \text{ м,}$$

$$h_{7-8} = S_{7-8} q^2_{7-8} = 0,003 \times 28^2 = 2,35 \text{ м.}$$

Тоді

$$P_8 = 40 + 26 + 0,16 + 0,39 + 1,32 + 2,35 = 70,22 \text{ м.}$$

Напір в мережі недостатній для підключення п'ятиповерхового будинку, оскільки

$$P_8 > P'_8 .$$

Вільний напір необхідно збільшити на величину

$$\Delta H = P_8 - P'_8 = 70,22 - 68,55 = 1,67 \text{ м.}$$

Задача №3. Для умов попередньої задачі визначити, на скільки знизяться напори в кожному вузлі, якщо напір в вузлі подачі буде постійним. При цьому загальний опір у всіх відгалуженнях буде постійним і рівним $S_{від}=0,001$.

Розв'язування типової задачі

Використовуючи результати розв'язання попередньої задачі, знаходимо п'єзометричні позначки в кожному вузлі. Початкове положення:

$$P'_1 = 66 \text{ м}; \quad P'_2 = P'_1 + h_{1-2} = 66 + 0,03 = 66,03 \text{ м};$$

$$P'_3 = P'_2 - h'_{2-3} = P'_2 - S_{2-3} q^2_3 = 66,03 - 0,01 \times 2^2 = 65,99 \text{ м};$$

$$P'_5 = P'_2 + h'_{2-5} = 66,03 + 0,16 = 66,19 \text{ м};$$

$$P'_4 = P'_5 - h_{4-5} = P'_5 - S_{4-5} q^2_4 = 66,19 - 0,01 \times 5^2 = 65,94 \text{ м};$$

$$P'_7 = P'_5 + h'_{5-7} = 66,19 + 0,77 = 66,96 \text{ м};$$

$$P'_6 = P'_7 - h_{6-7} = P'_7 - S_{6-7} q^2_6 = 66,96 - 0,01 \times 4^2 = 66,80 \text{ м};$$

$$P'_8 = P'_7 + h_{7-8} = 66,96 + 1,59 = 68,55 \text{ м}.$$

П'єзометричні позначки після підключення будинку в вузлі 1. Якщо п'єзометрична позначка в початковій точці не зміниться і залишиться на позначці $P_8=68,55\text{м}$, тоді

$$P_7 = P_8 - h_{7-8} = 68,55 - 2,35 = 66,20 \text{ м},$$

$$P_6 = P_7 - h_{6-7} = 66,20 - S_{6-7} q^2_6 = 66,20 - 0,01 \times 4^2 = 66,20 - 0,16 = 66,04 \text{ м};$$

$$P_5 = P_7 - h_{5-7} = 66,20 - 1,32 = 64,88 \text{ м},$$

$$P_4 = P_5 - h_{4-5} = P_5 - S_{4-5} q^2_4 = 64,88 - 0,01 \times 5^2 = 64,88 - 0,25 = 64,63 \text{ м};$$

$$P_2 = P_5 - h_{2-5} = 64,88 - 0,39 = 64,49 \text{ м},$$

$$P_3 = P_2 - h_{2-3} = P_2 - S_{2-3} q^2_3 = 64,49 - 0,01 \times 2^2 = 64,49 - 0,04 = 64,45 \text{ м};$$

$$P_1 = P_2 - h_{1-2} = 64,49 - 0,16 = 64,33 \text{ м}.$$

Вільний напір в будь-якому вузлі визначається залежністю

$$H_i = P_i - Z_i .$$

Тоді при приєднанні до мережі п'ятиповерхового будинку вільні напори в вузлах мережі знизяться до величин

$$\Delta H_i = (P'_i - Z_i) - (P_i - Z_i) = P'_i - P_i.$$

$$\Delta H_1 = 66 - 64,33 = 1,67 \text{ м};$$

$$\Delta H_2 = 66,03 - 64,49 = 1,54 \text{ м};$$

$$\Delta H_3 = 65,99 - 64,45 = 1,54 \text{ м};$$

$$\Delta H_4 = 65,94 - 64,63 = 1,31 \text{ м};$$

$$\Delta H_5 = 66,19 - 64,88 = 1,31 \text{ м};$$

$$\Delta H_6 = 66,80 - 66,04 = 0,76 \text{ м};$$

$$\Delta H_7 = 66,96 - 66,20 = 0,76 \text{ м};$$

$$\Delta H_8 = 66,55 - 66,55 = 0.$$

Задача №4. Визначити, як зміниться подача насосних станцій №1 і №2, що обладнані насосами марки Д500-65 з характеристикою

$$H = 84,49 - 0,00098 Q^2,$$

при роботі на мережу, яка приведена на рис.9, якщо водорозбір в зоні “Б” збільшиться в 1,5 разів. Чисельні значення характеристик мережі прийняти по додатку А згідно з їх буквеним і індексним позначенням.

Розв’язування типової задачі

До початку розрахунку доцільно схему мережі спростити, замінивши витрати окремих зон зосередженими витратами, які відбираються з вузлів головної магістралі, до яких приєднується відповідна зона так, як це показано на рис.10.

Величина цих зосереджених витрат визначається за формулою:

$$Q_k = \sum_{i=1}^n q_i,$$

де n – кількість вузлових витрат в зоні, яка розглядається,

q_i - величина вузлової витрати i -ого вузла.

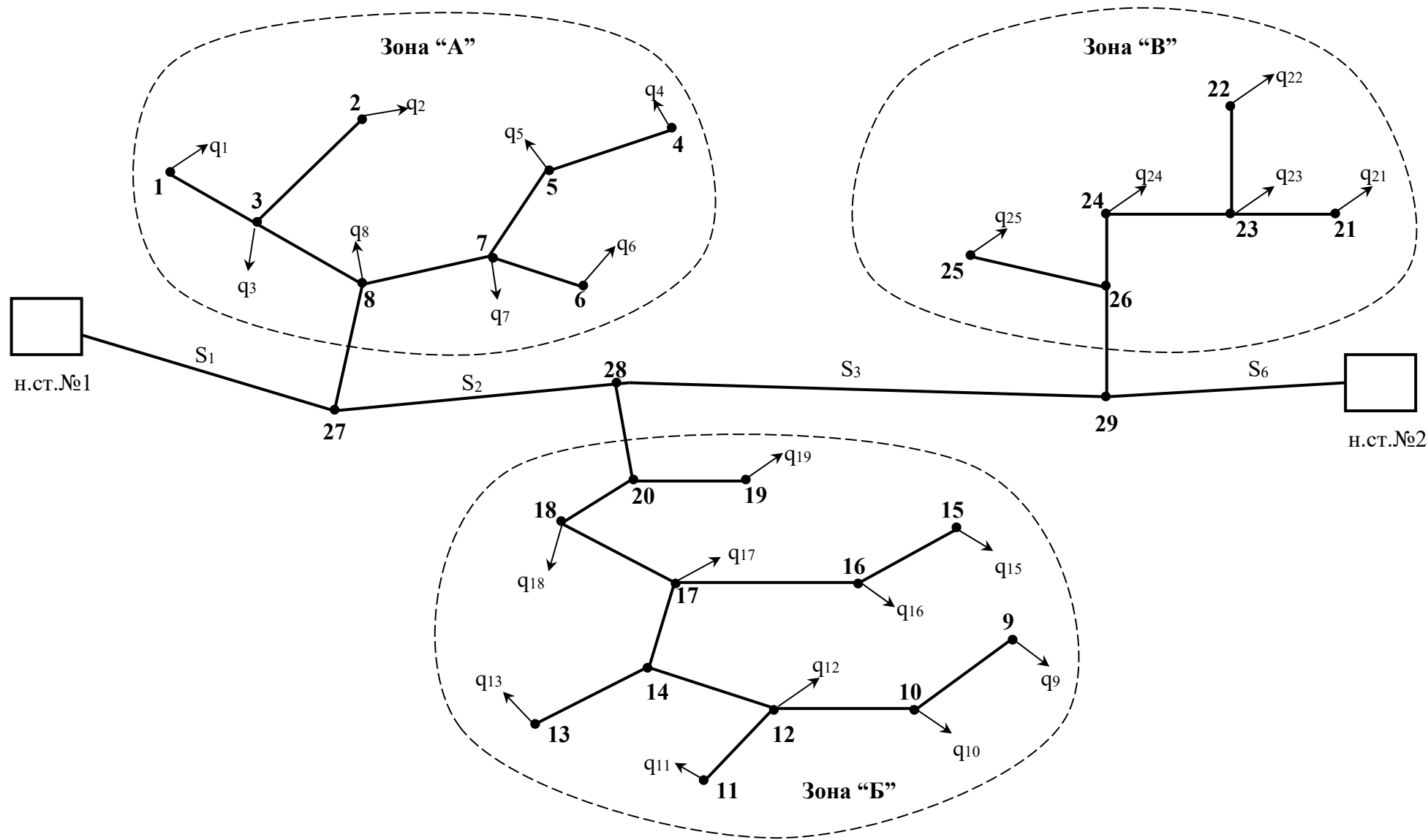


Рисунок 5.4 – Схема мережі

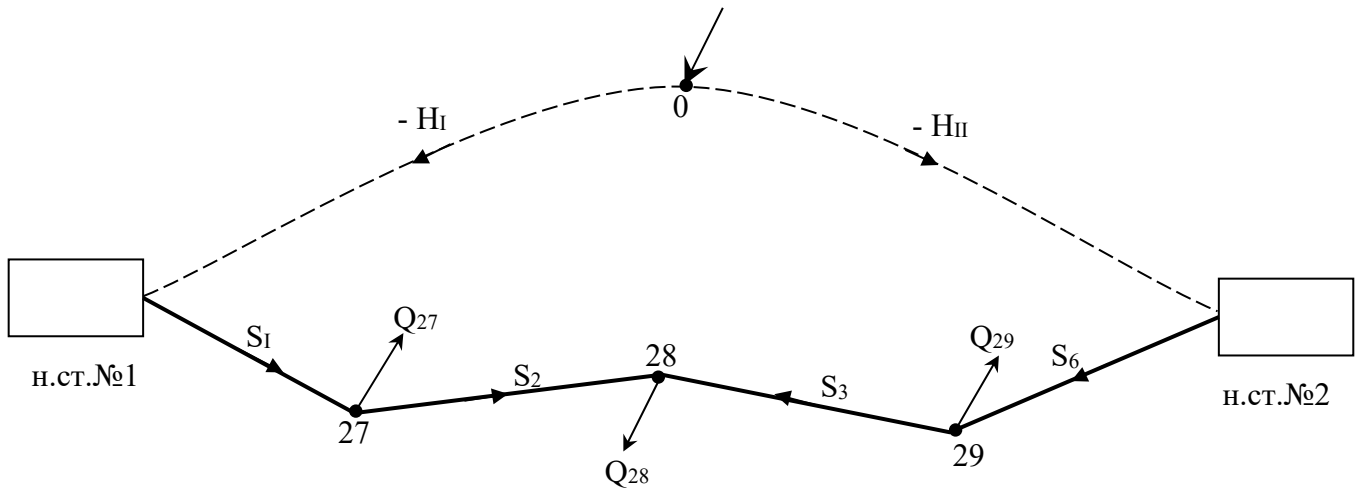


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема мережі

Нехай величини вузлових витрат в л/с дорівнюють:

$$q_1 = 15; q_2 = 20; q_3 = 3,0; q_4 = 3,0; q_5 = 3,5; q_6 = 10; q_7 = 20; q_8 = 15; q_9 = 5;$$

$$q_{10} = 10; q_{11} = 15; q_{12} = 5; q_{13} = 10; q_{15} = 5; q_{16} = 10; q_{17} = 2,0; q_{18} = 15; q_{19} = 3,0;$$

$$q_{21} = 10; q_{22} = 15; q_{23} = 20; q_{24} = 5; q_{25} = 35; S_1 = 0,0005 \text{ (для } Q \text{ в л/с); } S_2 = 0,0003;$$

$$S_3 = 0,0002; S_6 = 0,0007.$$

Тоді витрата в зоні “А” буде

$$Q_A = Q_{27} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 =$$

$$= 15 + 20 + 3,0 + 3,0 + 3,5 + 10 + 20 = 89,5 \text{ л/с .}$$

Витрата в зоні “Б” буде

$$Q_B = Q_{28} = q_9 + q_{10} + q_{11} + q_{12} + q_{13} + q_{15} + q_{16} + q_{17} + q_{18} + q_{19} =$$

$$= 5 + 10 + 15 + 5 + 10 + 5 + 10 + 2,0 + 15 + 3,0 = 80 \text{ л/с .}$$

Витрата в зоні “В” буде

$$Q_V = Q_{29} = q_{21} + q_{22} + q_{23} + q_{24} + q_{25} = 10 + 15 + 20 + 5 + 35 = 85 \text{ л/с .}$$

Для того, щоб з’ясувати, як зміниться подача насосних станцій після зростання водорозбору в зоні “Б”, треба з’ясувати, які подачі насосних станцій були спочатку. З цією метою треба скласти рівняння зовнішньої ув’язки. Виберемо довільну точку “0” (рис.10) і з’єднаємо її фіктивними лініями з насосними станціями. Отримаємо одне кільце, в яке входить головна магістраль мережі і дві

фіктивні лінії, яким надається характеристика, що відображає відповідну характеристику насосних станцій. Умовно рахуємо, що в точку “0” подається загальна витрата обох насосних станцій $Q_I + Q_{II}$. Тоді напрям руху в фіктивних лініях буде від точки “0” до насосних станцій.

Загальна подача насосних станцій до збільшення водорозбору в зоні “Б” буде

$$Q_I + Q_{II} = \sum q_i = 89,5 + 80 + 85 = 254,5 \text{ л/с} .$$

Враховуючи, що обидві насосні станції облаштовані однаковими насосами, можна очікувати, що їх подачі не будуть сильно відрізнятись. Тоді зони живлення кожної з насосних станцій будуть сходитися в вузлі 28, а напрями руху води в ділянках головної магістралі будуть такими, як показано на рис.10. Рівняння зовнішньої ув’язки буде мати вигляд

$$H_I - S_1 Q_I^2 - S_2 (Q_I - Q_{27})^2 + S_3 (Q_{II} - Q_{29})^2 + S_6 Q_{II}^2 - H_{II} = 0 .$$

Напори насосів описуються залежностями

$$H_I = 84,49 - 0,00098 Q_I^2 ,$$

$$H_{II} = 84,49 - 0,00098 Q_{II}^2 = 84,49 - 0,00098 (254,5 - Q_I)^2 .$$

Тоді рівняння зовнішньої ув’язки прийме вигляд

$$84,49 - 0,00098 Q_I^2 - S_1 Q_I^2 - S_2 (Q_I - 89,5)^2 + S_3 (254,5 - Q_I - 85)^2 +$$

$$+ S_6 (254,5 - Q_I)^2 - 84,49 + 0,00098 (254,5 - Q_I)^2 = 0 .$$

Підставивши значення опорів окремих ліній, отримаємо

$$-0,00098 Q_I^2 - 0,0005 Q_I^2 - 0,0003 (Q_I - 89,5)^2 + 0,0002 (254,5 - Q_I - 85)^2 +$$

$$+ 0,0007 (254,5 - Q_I)^2 + 0,00098 (254,5 - Q_I)^2 = 0 .$$

Розв’язуючи це рівняння, одержимо величину витрати Q_I , яка надходить від насосної станції №1.

$$-0,00148 Q_I^2 - 0,0003 (Q_I^2 - 179 Q_I + 8010) +$$

$$+ 0,0002 (169,5 - Q_I)^2 + 0,00168 (254,5 - Q_I)^2 = 0 ;$$

$$-0,00178 Q_I^2 + 0,0537 Q_I - 2,4 + 0,0002 (28730 - 339 Q_I + Q_I^2) +$$

$$+ 0,00168 (64770 - 509 Q_I + Q_I^2) = 0 ;$$

$$\begin{aligned}
& -0,0001Q_I^2 - 0,8014 Q_I + 106,41 + 5,75 - 0,0678 Q_I + 0,0002 Q_I^2 = 0 ; \\
& 0,0001Q_I^2 - 0,8692 Q_I + 112,16 = 0 ; \\
& Q_I^2 - 8692 Q_I + 1121600 = 0 ; \\
& Q_I = 4346 \pm \sqrt{4346^2 - 1121600} = 4346 \pm \sqrt{18887716 - 1121600} = 4346 \pm 4215; \\
& Q_I = 131 \text{ л/с} .
\end{aligned}$$

Тоді

$$Q_{II} = 254,5 - 131 = 123,5 \text{ л/с} .$$

Якщо зросте відбір в вузлі 28 за рахунок того, що збільшиться водорозбір в зоні “Б” в 1,5 рази, то загальна витрата в системі стане

$$\sum q_i = 89,5 + 80 \times 1,5 + 85 = 294,5 \text{ л/с} .$$

Рівняння зовнішньої ув'язки в цьому випадку в принципі залишиться таким же, як уже розглянуто вище, за виключенням сумарного відбору:

$$\begin{aligned}
& 84,49 - 0,00098Q_I^2 - S_1 Q_I^2 - S_2 (Q_I - 89,5)^2 + \\
& + S_3 (294,5 - 85 - Q_I)^2 + S_6 (294,5 - Q_I)^2 - 84,49 + 0,00098(294,5 - Q_I)^2 = 0 ; \\
& - 0,00098Q_I^2 - 0,0005 Q_I^2 - 0,0003 (Q_I^2 - 179Q_I + 8010) + \\
& + 0,002 (209,5 - Q_I)^2 + 0,00168(294,5 - Q_I)^2 = 0 ; \\
& - 0,00178Q_I^2 + 0,0537 Q_I - 2,4 + 0,0002 (43890 - 419Q_I + Q_I^2) + \\
& + 0,00168 (86730 - 589Q_I + Q_I^2) = 0; \\
& - 0,00178 + 0,0537 Q_I - 2,4 + 8,79 - 0,0838Q_I + \\
& + 0,0002Q_I^2 + 145,71 - 0,99Q_I + 0,00168Q_I^2 = 0 ; \\
& 0,0001Q_I^2 - 1,020Q_I + 152,1 = 0 ; \\
& Q_I^2 - 10200 + 1521000 = 0 ; \\
& Q_I = 5100 \pm \sqrt{5100^2 - 1521000} = 5100 \pm \sqrt{26010000 - 1521000} = 5100 \pm 4949; \\
& Q_I = 151 \text{ л/с} .
\end{aligned}$$

Тоді

$$Q_{II} = 294,5 - 151 = 143,5 \text{ л/с} .$$

Таким чином, якщо характеристики мережі і точка сходу потоків не змінюються, то при однакових насосах на насосній станціях при зростанні відбору подача їх збільшується на одну і ту ж величину (20 л/с).

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №6

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Гідравлічні характеристики і перевірочні розрахунки систем водовідведення

До початку практичного заняття необхідно вивчити матеріал лекцій за темою 3 [1].

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

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 6.1 – Напірно-витратна характеристика насосу

Напір H_{ik} , м	52	50	48	46	44
Подача Q_{ik} , 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.12.

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

Таблиця 6.2 – 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. 13.

Таблиця 6.3 – 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 12 і 13 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:

$$H = H_{\Gamma} + S q_{15}^2 = H_{\Gamma} + S_0 l_3 q_{15}^2,$$

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

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

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

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.

Задача №3. 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 . 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

Аналitична залежність $l_i = f(\varphi_i)$ має вигляд

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

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 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

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

Складаємо допоміжну таблицю 14. Для цього задаємося 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 6.4 – Необхідна довжина підсилюючого колектора l_i при різному φ_i

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:

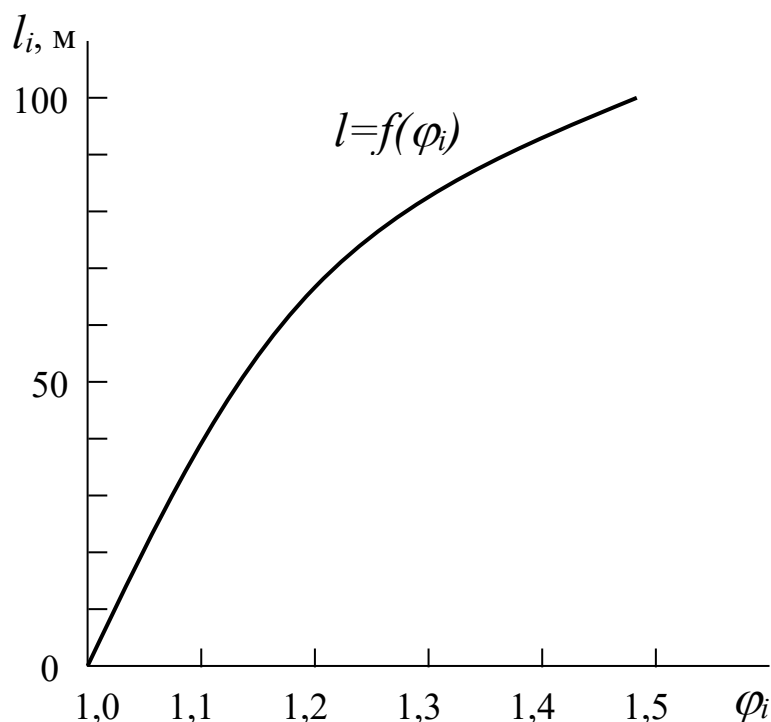


Рисунок 6.1 – Графік функції $l_i=f(\varphi_i)$.

Задача №4. Як зміниться режим роботи ділянок переходу через річку колектора довжиною l_4 і $d=150$ мм, схема якого приведена на рис.16, 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.

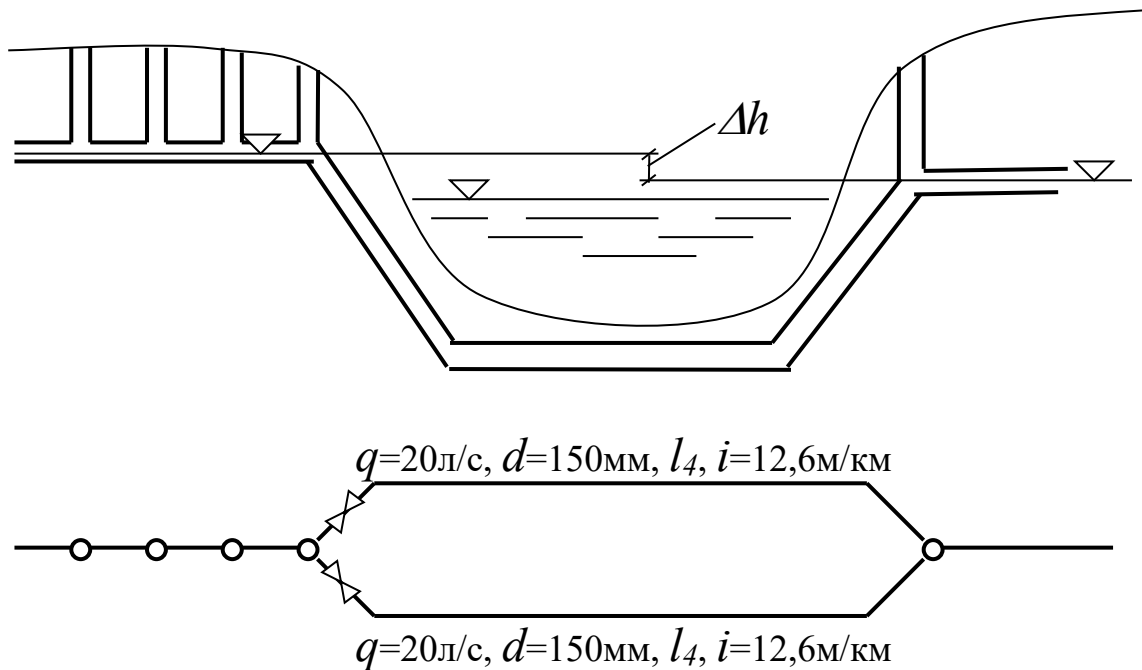


Рисунок 6.2 – Схема переходу через річку

Розв'язування типової задачі

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

Втрати напору в дюкері в вихідному стані дорівнюють:

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

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

ζ_i - коефіцієнти місцевого опору в дюкері.

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

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:

$$\Delta h_e = i_e \times l_e ,$$

де i_e – ухил верхової лінії,

l_e - довжина верхової ділянки.

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

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

$$\Delta h_3 > \Delta h_e .$$

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.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №7

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Аналіз роботи живлювачів водопровідної мережі

- Які групи рівнянь можна скласти для розв'язування задач перевірочних розрахунків?
- Які групи рівнянь необхідно використовувати при розрахунках розгалужених мереж з одним водоживлювачем?
- Коли для визначення витрат кожної з ділянок розгалуженої мережі достатньо рівнянь тільки першої групи?

Задача. Водопровідна мережа характеризується даними, які показані на рис.13. Вода в мережу подається трьома насосними станціями, які обладнані насосами марки Д500-65 з характеристиками, що описуються залежністю

$$H = 84,49 - 0,00098Q^2 .$$

Крім розбору води з мережі безпосередньо, частина води надходить в дві напірні ємності на промислових підприємствах, одна з яких знаходиться на висоті H_5 від вісі найнижчої насосної станції, а друга на висоті H_6 . Позначки вісів насосів насосних станцій дорівнюють відповідно Z_1, Z_2, Z_3 . Скласти систему рівнянь для визначення подач кожної насосної станції і витрат, які будуть надходити в резервуари Р1 і Р2. Чисельні значення величин, що характеризують роботу мережі, прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Нехай чисельні величини характеристик мережі будуть такими:

$$Z_1 = 90\text{м}, Z_2 = 68\text{м}, Z_3 = 78\text{м}, H_5 = 60\text{м}, H_6 = 51\text{м}, q_1 = 25\text{л/с}, q_2 = 15\text{л/с}, \\ q_3 = 25\text{л/с}, q_4 = 9\text{л/с}, q_5 = 10\text{л/с}, q_6 = 11\text{л/с}, q_7 = 5\text{л/с}, q_8 = 6\text{л/с}, q_9 = 8\text{л/с}, q_{10} = 7\text{л/с}, \\ S_1 = 0,0002 \text{ (для } Q \text{ в л/с)}, S_2 = 0,0001, S_3 = 0,00015, S_6 = 0,0005, S_7 = 0,001.$$

Необхідно рівняння для визначення подач насосних станцій і витрат, що будуть надходити в напірні резервуари, можна скласти, якщо скористатися

рівняннями зовнішньої ув'язки. З цією метою вибираємо довільну точку **O** (рис.13) і з'єднуємо її з кожною з насосних станцій та з кожним резервуаром (пунктирні лінії).

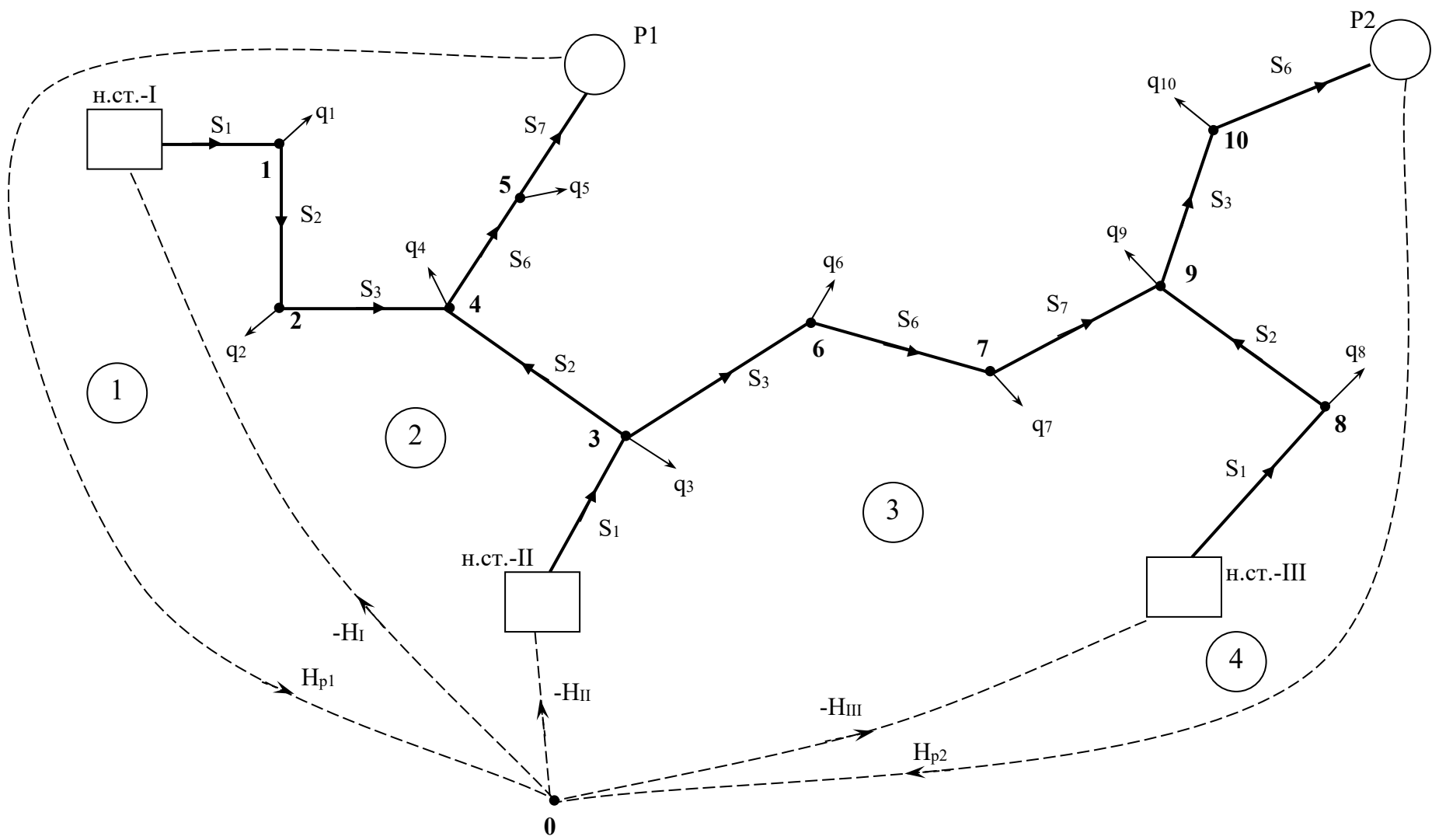


Рисунок 7.1 – Схема розподілу потоків і витрат води в водопровідній мережі

$$\begin{cases}
 H_{II} - S_1 Q_{II}^2 - S_2 (Q_{II} - q_3 - q_{3-6})^2 + S_3 (Q_I - q_1 - q_2)^2 + S_2 (Q_I - q_1)^2 - S_1 Q_I^2 - H_I = 0, \\
 H_{III} - S_1 Q_{III}^2 - S_2 (Q_{III} - q_8)^2 + S_7 (q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
 \text{В загальному вигляді ці рівняння будуть мати вигляд:} \\
 - S_6 (q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - S_3 (q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
 - S_1 Q_{II}^2 - H_{II} = 0, \\
 H_{p2} + S_6 Q_{p2}^2 + S_3 (Q_{p2} + q_{10})^2 + S_2 (Q_{III} - q_8)^2 + S_1 Q_{III}^2 - H_{III} = 0, \\
 Q_I + Q_{II} + Q_{III} - Q_{p1} - Q_{p2} - \sum_1^{10} q_i = 0,
 \end{cases}$$

Підставимо в ці рівняння чисельні величини і спростимо їх.

Перше рівняння:

$$H_I - 0,0002 \times Q_I^2 - 0,0001 (Q_I^2 - 2 \times 25 Q_I + 25^2) - 0,00015 (Q_I^2 - 2 \times 40 Q_I + 40^2) - \\
 - 0,0005 (Q_{p1}^2 + 2 \times 10 Q_{p1} + 100) - 0,001 Q_{p1}^2 - H_5 = 0,$$

$$H_I - 0,0002 \times Q_I^2 - 0,0001 Q_I^2 + 0,005 Q_I - 0,0625 - 0,00015 Q_I^2 + \\
 + 0,012 Q_I - 0,24 - 0,0005 Q_{p1}^2 - 0,01 Q_{p1} - 0,05 - 0,001 Q_{p1}^2 - H_5 = 0,$$

Виразимо всі напори і висоти резервуарів відносно вісі найнижчої насосної станції. Тоді відповідні напори насосних станцій стануть рівними:

$$\begin{aligned}
 H'_I &= H_I + \Delta Z_I = H_I + (Z_I - Z_2) = 84,49 + 0,00098 Q_I^2 + 90 - 68 = 106,49 - 0,00098 Q_I^2, \\
 H'_{II} &= H_{II} + \Delta Z_2 = H_{II} + 0 = 84,49 - 0,00098 Q_{II}^2, \\
 H'_{III} &= H_{III} + \Delta Z_3 = H_{III} + (Z_3 - Z_2) = 84,49 - 0,00098 Q_{III}^2 + 78 - 68 = 94,49 - 0,00098 Q_{III}^2.
 \end{aligned}$$

Підставимо величини напорів в перше рівняння:

$$106,49 - 0,00098 Q_I^2 - 0,00045 Q_I^2 + 0,017 Q_I - 0,3525 - 0,0015 Q_{p1}^2 - 0,01 Q_{p1} - 60 = 0.$$

Тоді в кінцевому вигляді перше рівняння буде таким:

$$46,14 - 0,00143 Q_I^2 + 0,017 Q_I - 0,0015 Q_{p1}^2 - 0,01 Q_{p1} = 0.$$

Спростимо друге рівняння:

$$\begin{aligned}
& H_{II} - 0,0002 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - q_3 - q_6 - q_7 - q_8 - q_9 - q_{10} - Q_{p2} + Q_{III})^2 + \\
& + 0,00015 (Q_I - q_1 - q_2)^2 + 0,0001 (Q_I - q_1)^2 - 0,0002 Q_I^2 - H_I = 0, \\
& 84,49 - 0,00098 Q_{II}^2 - 0,0002 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - 25 - 11 - 5 - 6 - 8 - 7 - Q_{p2} + Q_{III})^2 + \\
& + 0,00015 (Q_I - 25 - 15)^2 + 0,0001 (Q_I - 25)^2 - 0,0002 Q_I^2 - 51 = 0, \\
& 33,49 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - 62 - Q_{p2} + Q_{III})^2 + 0,00015 (Q_I^2 - 80 Q_I + 1600) + \\
& + 0,0001 (Q_I^2 - 50 Q_I + 625) - 0,0002 Q_I^2 = 0, \\
& 33,49 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II}^2 - 62 Q_{II} - Q_{II} Q_{p2} + Q_{II} Q_{III} - 62 Q_{II} + \\
& + 3844 + 62 Q_{p2} - 62 Q_{III} - Q_{II} Q_{p2} + 62 Q_{p2} + Q_{p2}^2 - Q_{p2} Q_{III} + Q_{II} Q_{III} - \\
& - 62 Q_{III} - Q_{III} Q_{p2} + Q_{III}^2) + 0,00015 Q_I^2 - 0,012 Q_I + 0,24 + 0,0001 Q_I^2 - \\
& - 0,005 Q_I + 0,0625 - 0,0002 Q_I^2 = 0, \\
& 33,79 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II}^2 - 124 Q_{II} - 2 Q_{II} Q_{p2} + 2 Q_{II} Q_{III} + 3844 + \\
& + 124 Q_{p2} - 124 Q_{III} + Q_{p2}^2 - 2 Q_{p2} Q_{III} + Q_{III}^2) - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0, \\
& 33,79 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} - \\
& - 0,38 - 0,0124 Q_{p2} + 0,0124 Q_{III} - 0,0001 Q_{p2}^2 + 0,0002 Q_{p2} Q_{III} - 0,0001 Q_{III}^2 - \\
& - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0.
\end{aligned}$$

В кінцевому вигляді друге рівняння буде таким:

$$\begin{aligned}
& 33,41 - 0,00128 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} - 0,0124 Q_{III} - \\
& - 0,0001 Q_{p2}^2 + 0,0002 Q_{p2} Q_{III} - 0,0001 Q_{III}^2 - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0.
\end{aligned}$$

Спростимо третє рівняння

$$\begin{aligned}
& H_{III} - 0,0002 Q_{III}^2 - 0,0001 (Q_{III} - 8)^2 + 0,001 (6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
& - 0,0005 (5 + 6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - 0,00015 (11 + 5 + 6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
& - 0,0002 Q_{II} - H_{II} = 0, \\
& 94,49 - 0,00098 Q_{III}^2 - 0,0001 (Q_{III}^2 - 16 Q_{III} + 64) + 0,001 (21 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
& - 0,0005 (26 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - 0,00015 (37 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - 0,0002 Q_{II}^2 - 84,49 + \\
& + 0,00098 Q_{II}^2 = 0,
\end{aligned}$$

$$10 - 0,00098 Q_{III}^2 - 0,0001 Q_{III}^2 - 0,0016 Q_{III} - 0,0064 + 0,001 (441 + 42 Q_{p2} - 2 Q_{p2} Q_{III} - 42 Q_{III} + Q_{p2}^2 + Q_{III}^2) - 0,0005 (676 + 52 Q_{p2} - 2 Q_{p2} Q_{III} - 52 Q_{III} + Q_{p2}^2 + Q_{III}^2) - 0,00015 (1369 + 74 Q_{p2} - 74 Q_{III} - 2 Q_{p2} Q_{III} + Q_{p2}^2 + Q_{III}^2) + 0,00078 Q_{II}^2 = 0,$$

$$9,99 - 0,00108 Q_{III}^2 - 0,0016 Q_{III} + 0,441 + 0,042 Q_{p2} - 0,002 Q_{p2} Q_{III} - 0,042 Q_{III} + 0,001 Q_{p2}^2 + 0,001 Q_{III}^2 - 0,338 - 0,026 Q_{p2} + 0,001 Q_{p2} Q_{III} + 0,026 Q_{III} - 0,0005 Q_{p2}^2 - 0,0005 Q_{III}^2 - 0,2054 - 0,0111 Q_{p2} + 0,0111 Q_{III} + 0,0003 Q_{p2} Q_{III} - 0,00015 Q_{p2}^2 + 0,00015 Q_{III}^2 + 0,00078 Q_{II}^2 = 0.$$

В кінцевому вигляді третє рівняння буде таким:

$$9,89 - 0,00043 Q_{III}^2 - 0,0065 Q_{III} + 0,049 Q_{p2} - 0,0007 Q_{p2} Q_{III} + 0,00035 Q_{p2}^2 + 0,00078 Q_{II}^2 = 0.$$

Спростимо четверте рівняння:

$$51 + 0,0005 Q_{p2}^2 + 0,00015 (Q_{p2} + 7)^2 + 0,0001 (Q_{III} - 6)^2 + 0,0002 Q_{III}^2 - 94,49 + 0,00098 Q_{III}^2 = 0,$$

$$- 43,49 + 0,0005 Q_{p2}^2 - 0,00015 (Q_{p2}^2 + 14 Q_{p2} + 49) + 0,0001 (Q_{III}^2 - 12 Q_{III} + 36) + 0,00118 Q_{III}^2 = 0,$$

$$-43,49 + 0,0005 Q_{p2}^2 - 0,00015 Q_{p2}^2 - 0,002 Q_{p2} - 0,00735 + 0,0001 Q_{III}^2 - 0,0012 Q_{III} + 0,0036 + 0,00118 Q_{III}^2 = 0.$$

В кінцевому вигляді четверте рівняння буде таким:

$$-43,49 + 0,00035 Q_{p2}^2 - 0,002 Q_{p2} + 0,00128 Q_{III}^2 - 0,0012 Q_{III} = 0.$$

Таким чином, система рівнянь для визначення подач кожної з насосних станцій і витрат, що будуть надходити в кожний резервуар, буде мати вигляд:

$$46,14 - 0,00143 Q_I^2 + 0,017 Q_I - 0,0015 Q_{p1}^2 - 0,01 Q_{p1} = 0,$$

$$33,41 - 0,00128 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} - 0,0124 Q_{III} - 0,0001 Q_{p2}^2 + 0,0002 Q_{p2} Q_{III} - 0,0001 Q_{III}^2 - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0,$$

$$\begin{aligned}
& 9,89 - 0,00043 Q_{III}^2 - 0,0065 Q_{III} + 0,049 Q_{p2} - 0,0007 Q_{p2} Q_{III} + \\
& + 0,00035 Q_{p2}^2 + 0,00078 Q_{II}^2 = 0, \\
& -43,49 + 0,00035 Q_{p2}^2 - 0,002 Q_{p2} + 0,00128 Q_{III}^2 - 0,0012 Q_{III} = 0, \\
& Q_I + Q_{II} + Q_{III} - Q_{p1} - Q_{p2} - 121 = 0.
\end{aligned}$$

Розв'язавши цю систему числовими методами, отримаємо необхідні характеристики водоживлювачів і резервуарів.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ №8

ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Аналіз роботи водопровідної мережі з регулюючими ємностями

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

- Коли для визначення витрат кожної з ділянок розгалуженої мережі достатньо рівнянь тільки першої групи?
- В якому випадку для перевірочних розрахунків розгалужених мереж необхідно використовувати рівняння четвертої групи (рівняння зовнішньої ув'язки)?
- В чому особливість перевірочних розрахунків водопровідних мереж при наявності в них регулюючих ємностей?
- В чому особливість перевірочних розрахунків водопровідних мереж, в яких є замкнуті контури?

Задача. Скласти систему рівнянь і запропонувати чисельний метод їх розв'язування для визначення, які витрати будуть надходити в кожний напірний резервуар в мережі, яка приведена на рис.11. Якщо висота розміщення резервуару №1 відносно вісі насосної станції H_{p1} , а резервуару №2 – H_{p2} . Насосна станція обладнана робочими насосами типу Д500-65 з характеристикою

$$H = 84,49 - 0,00098Q^2 .$$

Чисельні значення характеристик мережі прийняти по додатку А згідно з буквеним і індексним позначенням.

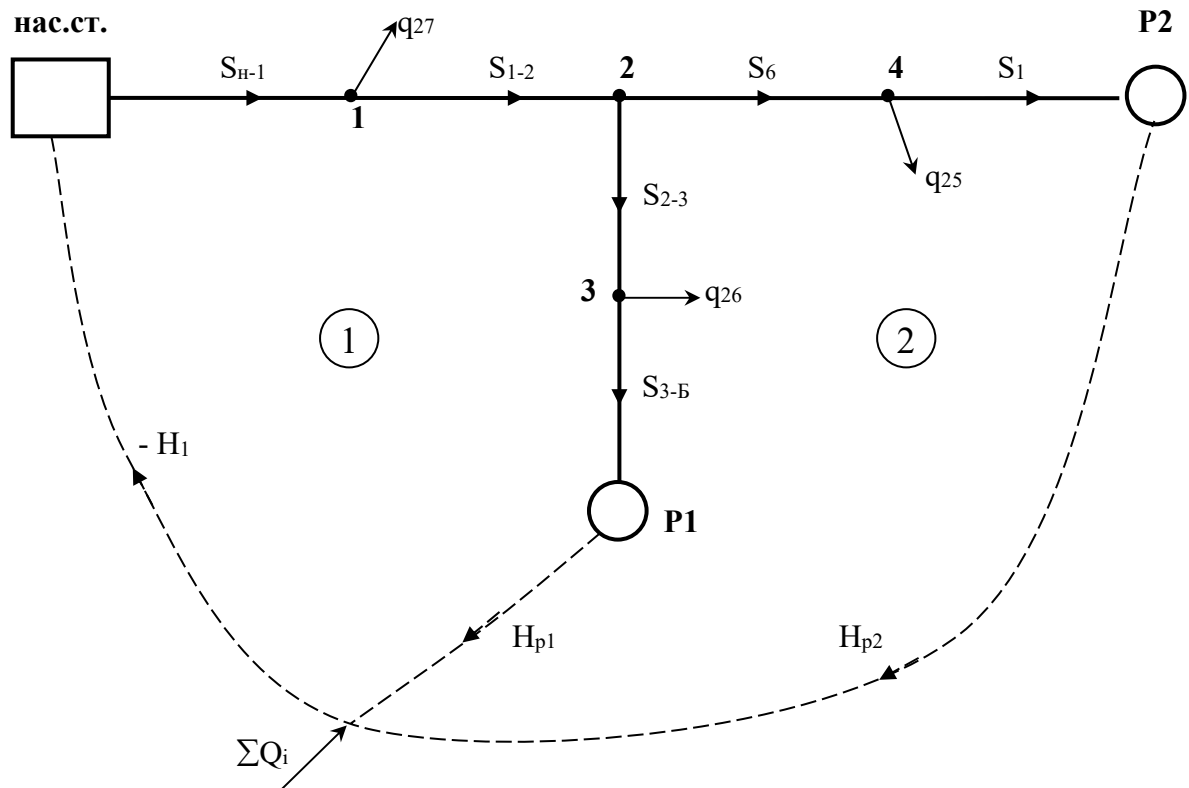


Рисунок 8.1 – Схема мережі

Розв'язування типової задачі

Вихідні дані: $q_{25}=3\text{л/с}$, $q_{26}=6\text{л/с}$, $q_{27}=5\text{л/с}$, $S_{H-1}=0,0035$ (для Q в л/с),

$S_{1-2}=0,0031$, $S_{2-3}=0,0027$, $S_6=0,0007$, $S_{3-Б}=0,0011$, $S_1=0,00018$, $H_{P1}=11\text{м}$, $H_{P2}=6,3\text{ м}$.

Для визначення витрат, що будуть надходити в кожний напірний резервуар, треба скласти систему рівнянь, яка включає два рівняння зовнішньої ув'язки і балансові рівняння для витрат.

$$\left\{ \begin{array}{l} -H_1 + S_{n-1} Q_1^2 + S_{1-2} (Q_1 - q_{27})^2 + S_{2-3} (Q_1 - q_{27} - q_{25} - Q_{p2})^2 + \\ + S_{3-B} (Q_1 - q_{27} - q_{26} - q_{25} - Q_{p2})^2 + H_{p1} = 0, \\ -H_{p1} - S_{3-B} (Q_1 - q_{27} - q_{26} - q_{25} - Q_{p2})^2 - S_{2-3} (Q_1 - q_{27} - q_{25} - Q_{p2})^2 + \\ + S_6 (Q_{p2} + q_{25})^2 + S_1 Q_{p2}^2 + H_{p2} = 0, \\ Q_1 = q_{25} + q_{26} + q_{27} + Q_{p1} + Q_{p2}. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -84,49 + 0,00098 Q_1^2 + 0,0035 Q_1^2 + 0,0031 (Q_1 - 5)^2 + \\ \text{Підставимо в ці рівняння чисельні значення витрат, загальних опорів і} \\ \text{характеристик насосів і резервуарів. Тоді одержимо систему рівнянь} \\ + 0,0027 (Q_1 - 5 - 3 - Q_{p2})^2 + 0,0011 (Q_1 - 5 - 6 - 3 - Q_{p2})^2 + 11 = 0, \\ -11 - 0,0011 (Q_1 - 5 - 6 - 3 - Q_{p2})^2 - 0,0027 (Q_1 - 5 - 3 - Q_{p2})^2 + \\ + 0,0007 (Q_{p2} + 3)^2 + 0,00018 Q_{p2}^2 + 6,3 = 0, \\ Q_1 = 3 + 6 + 5 + Q_{p1} + Q_{p2}. \end{array} \right.$$

Спростимо перше рівняння

$$\begin{aligned} & -84,49 + 0,00448 Q_I^2 + 0,0031 (Q_I^2 - 10 Q_I + 25) + \\ & + 0,0027 (Q_I - 8 - Q_{p2})^2 + 0,0011 (Q_I - 14 - Q_{p2})^2 + 11 = 0, \\ & -84,49 + 0,00448 Q_I^2 + 0,0031 Q_I^2 - 0,031 Q_I + 0,0775 + \\ & + 0,0027 (Q_I^2 - 16 Q_I - 2 Q_I Q_{p2} + 16 Q_{p2} + 64 + Q_{p2}^2) + \\ & + 0,0011 (Q_I^2 - 28 Q_I - 2 Q_I Q_{p2} + 28 Q_{p2} + 196 + Q_{p2}^2) + 11 = 0. \\ & -73,41 + 0,00758 Q_I^2 - 0,031 Q_I + 0,0027 Q_I^2 - 0,0432 Q_I - \\ & - 0,0054 Q_I Q_{p2} + 0,0432 Q_{p2} + 0,17 + 0,0027 Q_{p2}^2 + 0,0011 Q_I^2 - \\ & - 0,0308 Q_I - 0,0022 Q_I Q_{p2} + 0,0308 Q_{p2} + 0,22 + 0,0011 Q_{p2}^2 = 0, \\ & -73,02 + 0,01138 Q_I^2 - 0,105 Q_I - 0,0076 Q_I Q_{p2} + 0,074 Q_{p2} + 0,0038 Q_{p2}^2 = 0. \end{aligned}$$

Тепер спростимо друге рівняння

$$\begin{aligned} & -11 - 0,0011 (Q_I - 14 - Q_{p2})^2 - 0,0027 (Q_I - 8 - Q_{p2})^2 + \\ & + 0,0007 (Q_{p2}^2 + 6 Q_{p2} + 9) + 0,00018 Q_{p2}^2 + 6,3 = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - 4,7 - 0,0011(Q^2_I - 28Q_I - 2Q_I Q_{p2} + 28Q_{p2} + 196 + Q^2_{p2}) - \\
& - 0,0027(Q^2_I - 16Q_I - 2Q_I Q_{p2} + 16Q_{p2} + 64 + Q^2_{p2}) + \\
& + 0,0007Q^2_{p2} + 0,0042Q_{p2} + 0,0063 + 0,00018Q^2_{p2} = 0, \\
& - 4,69 - 0,0011Q^2_I + 0,0308Q_I + 0,0022Q_I Q_{p2} - 0,0308Q_{p2} - 0,22 - \\
& - 0,0011Q^2_{p2} - 0,0027Q^2_I + 0,0432Q_I + 0,0054Q_I Q_{p2} - 0,0432Q_{p2} - 0,17 - \\
& - 0,0027Q^2_{p2} + 0,0042Q_{p2} + 0,00088Q^2_{p2} = 0, \\
& -5,08 - 0,0038Q^2_I + 0,074Q_I + 0,0076Q_I Q_{p2} - 0,0698Q_{p2} - 0,00292Q^2_{p2} = 0.
\end{aligned}$$

Таким чином, система рівнянь, яку треба розв'язати буде мати вигляд:

$$\begin{cases}
-73,02 + 0,01138Q^2_I - 0,105Q^2_I - 0,0076Q_I Q_{p2} + \\
+ 0,074Q_{p2} + 0,0038Q^2_{p2} = 0, \\
-5,08 - 0,0038Q^2_I + 0,074Q_I + 0,0076Q_I Q_{p2} - \\
- 0,0698Q_{p2} - 0,00292Q^2_{p2} = 0, \\
Q_I = 14 + Q_{p1} + Q_{p2}.
\end{cases}$$

Розв'язати цю систему можна чисельними методами, використовуючи калькулятор чи ПЕОМ в такій послідовності:

а) Вибрати початкову можливу величину витрати Q_I , яку повинна подавати насосна станція, і величину кроку її зміни. Враховуючи умови задачі, витрата Q_I не може бути меншою загального розбору з мережі, тобто

$$Q_I = q_{25} + q_{26} + q_{27} + Q_{p1} + Q_{p2} = 3 + 6 + 5 + Q_{p1} + Q_{p2} = 14 + Q_{p1} + Q_{p2}.$$

Для умов задачі можна початкову витрату прийняти рівною $Q_{I\text{ноч}}=20\text{л/с}$. Для наступних кроків витрата визначається за формулою

$$Q_{Ii} = Q_{I(i-1)} + \Delta Q,$$

де ΔQ – крок зміни витрат.

Величину ΔQ при розрахунках на калькуляторі можна прийняти 10л/с, при розрахунках на ПЕОМ – 0,1л/с.

б) Визначити кінцеву можливу величину витрати Q_I , яку може подавати насосна станція. Виходячи з того, що найбільша висота резервуарів відносно вісі насосів 11м, теоретичний напір насосів не може бути меншим цієї величини. Враховуючи, що в мережі будуть втрати напору, можна прийняти мінімальний напір насосу $H_{\min}=12\div 15$ м. Тоді максимальна його подача буде

$$Q = \sqrt{\frac{84,49 - H_{\min}}{0,00098}} = \sqrt{\frac{84,49 - 12}{0,00098}} = 272 \text{ л/с.}$$

Таким чином, при кроках 5л/с чи 10л/с, кінцева величина витрати буде $Q_I=270$ л/с.

в) Для величин Q_I на кожному кроці визначити, користуючись першим рівнянням, витрату Q_{p2} , що буде надходити в резервуар №2. Розрахунки ведуться до тих пір, поки рівняння дають дійсний корінь. Потім знайти ті ж величини, користуючись другим рівнянням.

Для прикладу наводимо обчислення Q_{p2} по першому рівнянні при подачі насосної станції $Q_I=100$ л/с і для тих же умов – по другому рівнянні.

З першого рівняння одержимо:

$$- 73,02 + 0,01138 \times 100^2 - 0,105 \times 100 - 0,0076 \times 100 Q_{p2} +$$

$$+ 0,074 Q_{p2} + 0,0038 Q_{p2}^2 = 0 ,$$

$$- 73,02 + 113,8 - 10,5 - 0,76 Q_{p2} + 0,074 Q_{p2} + 0,0038 Q_{p2}^2 = 0;$$

$$Q_{p2}^2 - 180,53 Q_{p2} + 7968 = 0,$$

$$Q_{p2} = 90,26 \pm \sqrt{90,26^2 - 7968} = 90,26 \pm 13,4 .$$

Перший корінь рівняння $Q_{p2} = 76,6$ л/с. Другий корінь не має фізичного змісту, тому що надходження в резервуар $Q_{p2} = 103,66$ л/с не може перевищувати подачу насосної станції $Q_1 = 100$ л/с .

З другого рівняння одержимо:

$$- 5,08 - 0,0038 \times 100^2 + 0,074 \times 100 + 0,0076 \times 100 Q_{p2} -$$

$$- 0,0698 Q_{p2} - 0,00292 Q_{p2}^2 = 0 ,$$

$$- 5,08 - 38 + 7,4 + 0,76 Q_{p2} - 0,0698 Q_{p2} - 0,00292 Q_{p2}^2 = 0 ,$$

$$Q_{p2}^2 - 236,37 Q_{p2} + 12219 = 0,$$

$$Q_{p2} = 118,19 \pm \sqrt{118,19^2 - 12219} = 118,19 \pm 41,83 .$$

Перший корінь рівняння $Q_{p2} = 76,36$ л/с, другий корінь не має фізичного змісту тому, що $Q_{p2} = 160,02 > 100$.

Результати розрахунків приведені в табл.10.

Таблиця 10 – Допоміжна таблиця для визначення Q_{p2}

Номер рівняння, за яким визначалась витрата Q_{p2}	Величина надходження в резервуар №2 Q_{p2} при подачі насосів Q_1 , л/с						
	70	80	90	100	110	120	140
I рівняння	160,79	171,24	142,60	76,6	дійсних коренів немає		
II рівняння	дійсних коренів немає			76,36	81,06	86,57	97,56

г) Співставити між собою величини Q_{p2} , які визначено по кожному із рівнянь на кожному кроці. Великою витрати Q_{p2} , що буде надходити в резервуар №2 буде та, яка за визначенням по першому і по другому рівнянням буде однаковою. Насосна станція буде подавати витрату Q_1 , для якої отримана однакова величина Q_{p2} .

При розрахунках на ПЕОМ ці величини можуть бути визначені з точністю 0,1л/с.

При користуванні калькулятором для точного визначення величин Q_1 і Q_{p2} треба побудувати сумісні графіки $Q'_{p2}=f(Q_1)$ і $Q''_{p2}=f(Q_1)$, де Q'_{p2} і Q''_{p2} – величини витрат, що надходять в резервуар №2 при визначенні їх по першому і другому рівнянні відповідно. Точка перетину цих графіків дасть величини Q_1 і Q_{p2} (рис.12). Для графічного розв’язування системи рівнянь можна використати всі їх дійсні корені, навіть ті, які для умов задачі не мають фізичного змісту.

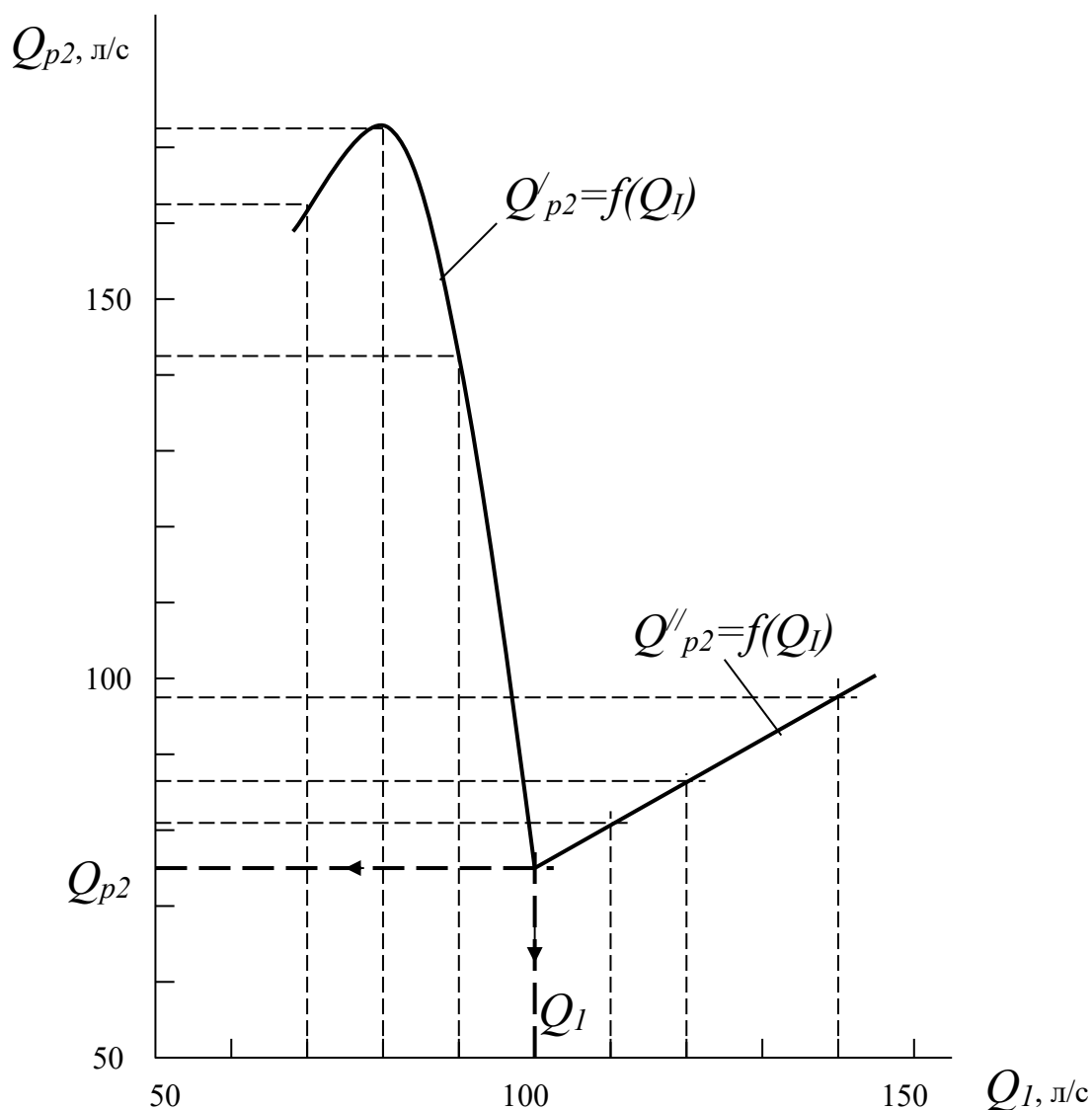


Рисунок 8.2 – Графічне розв’язування системи з першого і другого рівнянь

д) Користуючись третім рівнянням, визначити величину витрати , яка буде надходити в резервуар № 1.

ЛІТЕРАТУРА

1. Українець М.О. Аналіз ефективності роботи систем водопостачання та водовідведення. Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.092601 всіх форм навчання. – Запоріжжя: ЗДІА, 2013 – 95 с.
2. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. Пособие. – 6-е изд. доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1984. – 117с.
3. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле Н.Н. Павловского. - М.: Стройиздат, 1974. – 156с.

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
H_1	м	67	68,5	70	71	72	65	63	70	68	79,5
H_2	м	64	66	68	69,5	70,5	61,5	59	66	63,5	75,5
H_3	м	62	64,5	66,5	68	69,6	59,5	56,5	63	61	73
H_4	м	60,5	63	65	67	68,8	58	54,6	61	58,5	71
H_5	м	55,5	58,5	61	64	66	52	48,6	54,6	52	65,5
H_6	м	42	55	58	61	63,5	48	44	50	43,3	61,4
Q_1	л/с	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
Q_2	л/с	115	105	95	85	75	125	135	145	155	165
Q_3	л/с	123	113	103	93	83	133	143	153	163	173
Q_4	л/с	129	119	109	99	89	139	149	159	169	179
Q_5	л/с	146	136	126	116	106	156	166	176	186	196
Q_6	л/с	157	147	137	127	117	167	177	187	197	207
n	штук	3	4	2	3	4	5	2	3	4	5
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
P_1	МПа	0,25	0,27	0,30	0,35	0,37	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30
$H_{бак}$	м	3	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
P_n	м.вод.ст	7	6	7	8	8	6	8	6	7	9
$H_{рез}$	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
$S_n \times 10^4$	(для Q в л/с)	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9

Продовження додатку А

Показник		Величина показника при останній цифрі номера залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	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
$S_6 \times 10^4$	(для Q в л/с)	6	5	6	5	7	8	7	6	6	7
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
l_1	км	4,1	3,5	4,0	3,6	4,2	4,5	5,0	4,9	3,3	3,6
l_2	км	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,1	2,2	2,3	2,4
H_6	м	34,0	34,5	35,0	35,5	36,0	35,5	35,0	34,5	34,0	35,0
q_1	л/с	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
q_2	л/с	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
q_3	л/с	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$S_{H-1} \times 10^4$	(для Q в л/с)	35	36	37	38	39	40	39	38	37	36
$S_{1-2} \times 10^4$	(для Q в л/с)	30	31	32	33	34	33	32	31	30	29
$S_{2-3} \times 10^4$	(для Q в л/с)	24	23	23	22	22	24	22	25	26	27
$S_{3-Б} \times 10^4$	(для Q в л/с)	10	11	12	13	12	11	13	9	8	7
q_4	л/с	2	3	4	5	6	7	8	7	6	5
q_5	л/с	3	5	7	9	11	9	8	7	5	4
q_6	л/с	5	9	7	8	12	9	6	5	4	10
q_7	л/с	4	5	6	7	6	5	4	3	2	2
$S_{2-5} \times 10^4$	(для Q в л/с)	2	3	4	2,5	2,8	3,4	3,5	3,1	3,2	3,3
$S_{5-7} \times 10^4$	(для Q в л/с)	1	1,5	1,6	1,8	1,9	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5
$S_{7-8} \times 10^4$	(для Q в л/с)	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1

Продовження додатку А

Показник		Величина показника при останній цифрі номера залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_8	л/с	10	9	8	7	6	5	4	3	2	5
q_9	л/с	5	6	7	8	9	10	9	5	6	4
q_{10}	л/с	10	9	8	7	6	5	7	9	8	5
q_{11}	л/с	15	14	12	10	11	13	10	9	9	10
q_{12}	л/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6
q_{13}	л/с	9	10	11	12	13	14	15	16	17	12
q_{15}	л/с	4	5	4	3	1	2	1	3	1	3
q_{16}	л/с	6	7	8	9	10	11	10	9	8	8
q_{17}	л/с	5	4	3	4	2	1	3	4	6	2
q_{18}	л/с	15	14	13	12	11	10	9	8	7	9
q_{19}	л/с	4	4	5	4	6	5	4	5	8	6
q_{21}	л/с	8	9	10	11	12	13	14	15	16	11
q_{22}	л/с	17	17	15	14	13	10	9	8	9	10
q_{23}	л/с	19	18	17	19	18	17	19	18	17	15
q_{24}	л/с	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
q_{25}	л/с	35	34	33	32	31	32	33	34	35	32
q_{26}	л/с	55	56	57	58	59	58	57	56	55	56
q_{27}	л/с	50	49	48	47	46	45	46	47	48	46
H_{p1}	м	10	10,5	10	9	9	8,5	9,2	9,3	9,2	9,6
H_{p2}	м	6,2	6,3	6,0	6,2	6,1	6,0	6,1	6,2	6,3	6,1
$S_{7 \times 10^4}$	(для Q в л/с)	9	10	11	12	11	10	9	10	11	10
$S_{8 \times 10^4}$	(для Q в л/с)	20	21	22	20	21	22	21	20	19	20
$Q_{1к}$	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

Продовження додатку А

Показник		Величина показника при останній цифрі номера залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{4к}$	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
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