

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6

### ТЕМА ЗАНЯТТЯ: АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДЖИВЛЮВАЧІВ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

**Мета заняття:** виробити вміння й навички аналізувати режими роботи насосних станцій за результатами гідравлічних розрахунків водопровідної мережі, опанувати здібності застосування результатів гідравлічних розрахунків для аналізу зміни продуктивності підживлювачів та забезпечення оптимальних режимів транспортування води.

**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 у дві напірні місткості 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.

#### Приклад розв'язування задачі

Нехай чисельні величини характеристик мережі будуть такими:

$Z_1 = 90$  м,  $Z_2 = 68$  м,  $Z_3 = 78$  м,  $H_5 = 60$  м,  $H_6 = 51$  м,  $q_1 = 25$  л/с,  $q_2 = 15$  л/с,  $q_3 = 25$  л/с,  $q_4 = 9$  л/с,  $q_5 = 10$  л/с,  $q_6 = 11$  л/с,  $q_7 = 5$  л/с,  $q_8 = 6$  л/с,  $q_9 = 8$  л/с,  $q_{10} = 7$  л/с,  $S_1 = 0,0002$  (для  $Q$  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 **О** (рис. 1) і з'єднуємо її з кожною з насосних станцій та з кожним резервуаром (пунктирні лінії).

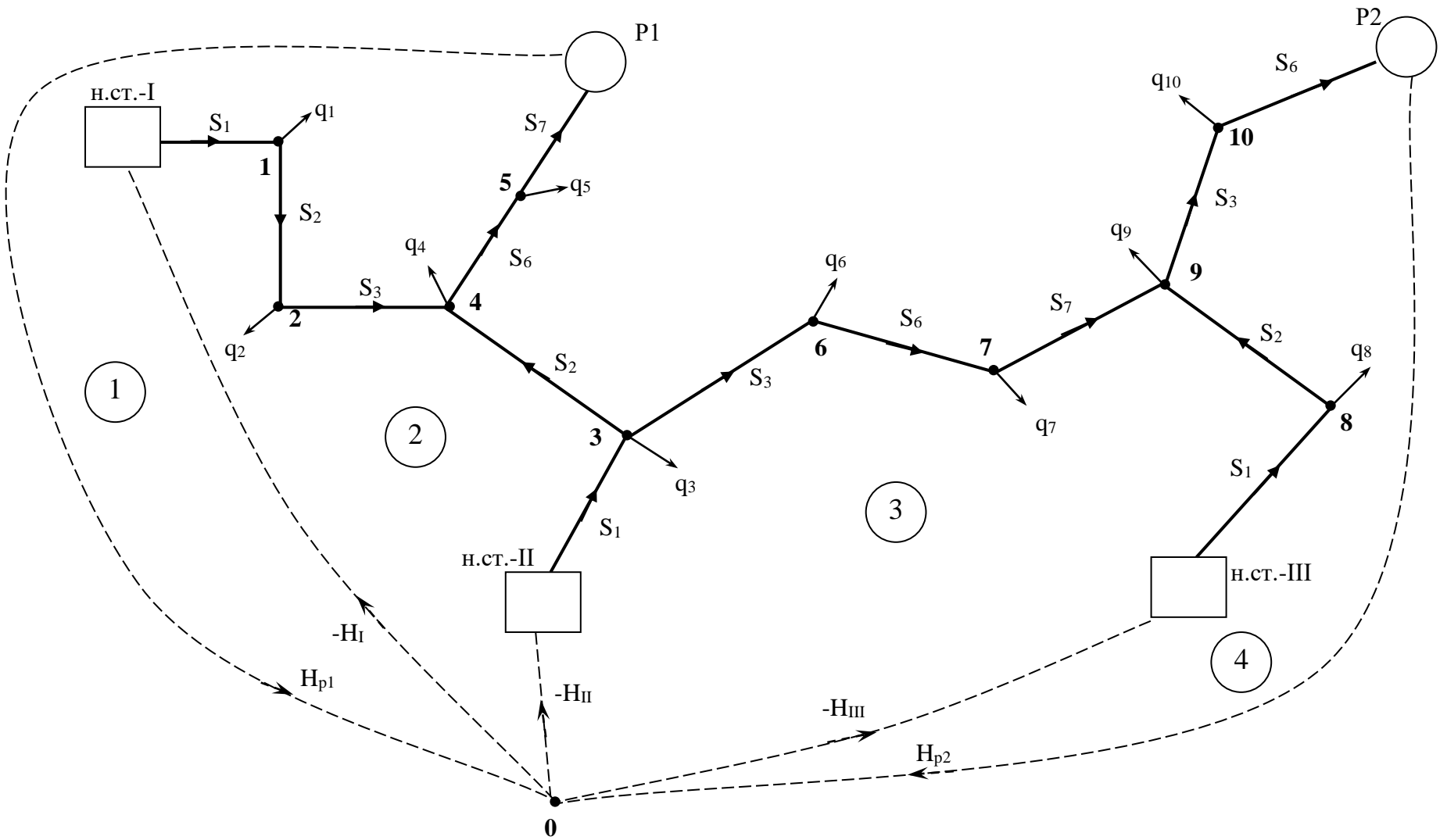


Рисунок 1 – Схема розподілу потоків і витрат води у водопровідній мережі

В загальному вигляді ці рівняння будуть мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_I - S_1 Q_I^2 - S_2 (Q_I - q_1)^2 - S_3 (Q_I - q_1 - q_2)^2 - S_6 (Q_{p1} + q_5)^2 - S_7 Q_{p2}^2 - H_{p1} = 0, \\ H_{II} - S_1 Q_{II}^2 - S_2 (Q_{II} - q_3 - q_{3-6})^2 + S_3 (Q_I - q_1 - q_2)^2 + S_2 (Q_I - q_1)^2 - S_1 Q_I^2 - H_1 = 0, \\ H_{III} - S_1 Q_{III}^2 - S_2 (Q_{III} - q_8)^2 + S_7 (q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\ - S_6 (q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - S_3 (q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\ - S_1 Q_{II}^2 - H_{II} = 0, \\ H_{p2} + S_6 Q_{p2}^2 + S_3 (Q_{p2} + q_{10})^2 + S_2 (Q_{III} - q_8)^2 + S_1 Q_{III}^2 - H_{III} = 0, \\ Q_I + Q_{II} + Q_{III} - Q_{p1} - Q_{p2} - \sum_1^{10} q_i = 0, \end{array} \right.$$

Підставимо в ці рівняння чисельні величини та 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 та висоти резервуарів відносно вісі найнижчої насосної станції. Тоді відповідні напори насосних станцій стануть рівними:

$$H'_I = H_I + \Delta Z_1 = H_I + (Z_1 - Z_2) = 84,49 + 0,00098 Q_I^2 + 90 - 68 = 106,49 - 0,00098 Q_I^2,$$

$$H'_{II} = H_{II} + \Delta Z_2 = H_{II} + 0 = 84,49 - 0,00098 Q_{II}^2,$$

$$H'_{III} = H_{III} + \Delta Z_3 = H_{III} + (Z_3 - Z_2) = 84,49 - 0,00098 Q_{III}^2 + 78 - 68 = 94,49 - 0,00098 Q_{III}^2.$$

Підставимо величини напорів у 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:

$$H_{II} - 0,0002 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - q_3 - q_6 - q_7 - q_8 - q_9 - q_{10} - Q_{p2} + Q_{III})^2 +$$

$$+ 0,00015 (Q_I - q_1 - q_2)^2 + 0,0001 (Q_I - q_1)^2 - 0,0002 Q_I^2 - H_I = 0,$$

$$84,49 - 0,00098 Q_{II}^2 - 0,0002 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - 25 - 11 - 5 - 6 - 8 - 7 - Q_{p2} + Q_{III})^2 +$$

$$+ 0,00015 (Q_I - 25 - 15)^2 + 0,0001 (Q_I - 25)^2 - 0,0002 Q_I^2 - 51 = 0,$$

$$33,49 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II} - 62 - Q_{p2} + Q_{III})^2 + 0,00015 (Q_I^2 - 80 Q_I + 1600) +$$

$$+ 0,0001 (Q_I^2 - 50 Q_I + 625) - 0,0002 Q_I^2 = 0,$$

$$33,49 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II}^2 - 62 Q_{II} - Q_{II} Q_{p2} + Q_{II} Q_{III} - 62 Q_{II} +$$

$$+ 3844 + 62 Q_{p2} - 62 Q_{III} - Q_{II} Q_{p2} + 62 Q_{p2} + Q_{p2}^2 - Q_{p2} Q_{III} + Q_{II} Q_{III} -$$

$$- 62 Q_{III} - Q_{III} Q_{p2} + Q_{III}^2) + 0,00015 Q_I^2 - 0,012 Q_I + 0,24 + 0,0001 Q_I^2 -$$

$$- 0,005 Q_I + 0,0625 - 0,0002 Q_I^2 = 0,$$

$$33,79 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 (Q_{II}^2 - 124 Q_{II} - 2 Q_{II} Q_{p2} + 2 Q_{II} Q_{III} + 3844 +$$

$$+ 124 Q_{p2} - 124 Q_{III} + Q_{p2}^2 - 2 Q_{p2} Q_{III} + Q_{III}^2) - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0,$$

$$33,79 - 0,00118 Q_{II}^2 - 0,0001 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} -$$

$$- 0,38 - 0,0124 Q_{p2} + 0,0124 Q_{III} - 0,0001 Q_{p2}^2 + 0,0002 Q_{p2} Q_{III} - 0,0001 Q_{III}^2 -$$

$$- 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = 0.$$

В кінцевому вигляді друге рівняння буде таким:

$$33,41 - 0,00128 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} - 0,0124 Q_{III} -$$

$$- 0,0001 Q_{p2}^2 + 0,0002 Q_{p2} Q_{III} - 0,0001 Q_{III}^2 - 0,00005 Q_I^2 - 0,017 Q_I = .$$

Спростимо третє рівняння

$$\begin{aligned}
& H_{III} - 0,0002 Q_{III}^2 - 0,0001 (Q_{III} - 8)^2 + 0,001(6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
& - 0,0005 (5 + 6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - 0,00015 (11 + 5 + 6 + 8 + 7 + Q_{p2} - Q_{III})^2 - \\
& - 0,0002 Q_{II}^2 - H_{II} = 0,
\end{aligned}$$

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

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

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

В кінцевому вигляді третє рівняння буде таким:

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

Спростимо четверте рівняння:

$$\begin{aligned}
& 51 + 0,0005Q_{p2}^2 + 0,00015 (Q_{p2} + 7)^2 + 0,0001 (Q_{III} - 6)^2 + 0,0002 Q_{III}^2 - 94,49 + \\
& 0,00098 Q_{III}^2 = 0, \\
& - 43,49 + 0,0005Q_{p2}^2 - 0,00015(Q_{p2}^2 + 14Q_{p2} + 49) + 0,0001(Q_{III}^2 - 12Q_{III} + 36) +
\end{aligned}$$

$$+0,00118 Q_{III}^2 = 0,$$

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

$$+ 0,0036 + 0,00118 Q_{III}^2 = 0.$$

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:

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

$$33,41 - 0,00128 Q_{II}^2 + 0,0124 Q_{II} + 0,0002 Q_{II} Q_{p2} - 0,0002 Q_{II} Q_{III} -$$

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

$$9,89 - 0,00043 Q_{III}^2 - 0,0065 Q_{III} + 0,049 Q_{p2} - 0,0007 Q_{p2} Q_{III} +$$

$$+ 0,00035 Q_{p2}^2 + 0,00078 Q_{II}^2 = 0,$$

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

$$Q_I + Q_{II} + Q_{III} - Q_{p1} - Q_{p2} - 121 = 0.$$

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

### Питання для самоконтролю

1. Які групи рівнянь можна скласти для розв'язування задач перевіркових розрахунків?
2. Які групи рівнянь необхідно використовувати при розрахунках розгалужених мереж з одним підживлювачем?
3. Коли для визначення витрат кожної з ділянок розгалуженої мережі достатньо рівнянь тільки першої групи?
4. Яким чином аналізуються фактичні витрати води та втрати напору в мережах?
5. Яким чином результати гідравлічних розрахунків мережі впливають на можливості управління розподілом потоків?

## 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: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052303.pdf>.
2. Герасимов Г Г.. Гідролічні та аеродинамічні машини: підручник. Рівне : НГВГП, 2008. 241 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2264/1/076%20zah.pdf>.
- 3.Орлов В. О., Тугай Я. А., Орлова А. М. Водопостачання та водовідведення : підручник. Київ : Знання, 2011. 359 с.

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
$Z_1$	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
$H_5$	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	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
$q_4$	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
$q_8$	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
$S_2 \times 10^4$	(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
$S_3 \times 10^4$	(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
$S_7 \times 10^4$	(для Q в л/с)	9	10	11	12	11	10	9	10	11	10