

Лабораторне заняття 3

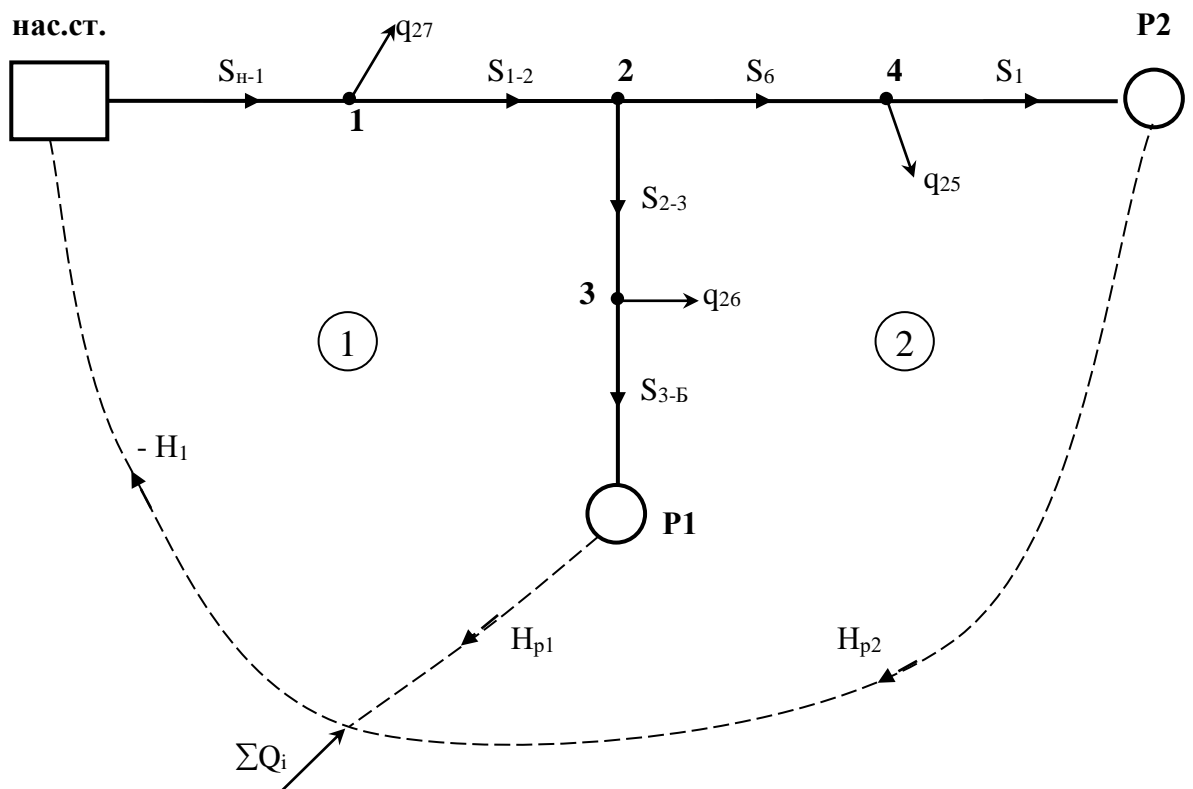
ТЕМА ЗАНЯТТЯ: Аналіз роботи водопровідної мережі з регулюючими ємностями

Завдання 1. 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 1 – Схема мережі



Розв'язування

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.

$$\begin{cases} -H_1 + S_{H-1}Q_1^2 + S_{1-2}(Q_1 - q_{27})^2 + S_{2-3}(Q_1 - q_{27} - q_{25} - Q_{p2})^2 + \\ + S_{3-B}(Q_1 - q_{27} - q_{26} - q_{25} - Q_{p2})^2 + H_{p1} = 0, \\ -H_{p1} - S_{3-B}(Q_1 - q_{27} - q_{26} - q_{25} - Q_{p2})^2 - S_{2-3}(Q_1 - q_{27} - q_{25} - Q_{p2})^2 + \\ + S_6(Q_{p2} + q_{25})^2 + S_1Q_{p2}^2 + H_{p2} = 0, \\ Q_1 = q_{25} + q_{26} + q_{27} + Q_{p1} + Q_{p2}. \end{cases}$$

Підставимо в ці рівняння чисельні значення витрат, загальних опорів і характеристик насосів і резервуарів. Тоді одержимо систему рівнянь

$$\begin{cases} -84,49 + 0,00098Q_1^2 + 0,0035Q_1^2 + 0,0031(Q_1 - 5)^2 + \\ + 0,0027(Q_1 - 5 - 3 - Q_{p2})^2 + 0,0011(Q_1 - 5 - 6 - 3 - Q_{p2})^2 + 11 = 0, \\ -11 - 0,0011(Q_1 - 5 - 6 - 3 - Q_{p2})^2 - 0,0027(Q_1 - 5 - 3 - Q_{p2})^2 + \\ + 0,0007(Q_{p2} + 3)^2 + 0,00018Q_{p2}^2 + 6,3 = 0, \\ Q_1 = 3 + 6 + 5 + Q_{p1} + Q_{p2}. \end{cases}$$

Спростимо перше рівняння

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

Тепер спростимо друге рівняння

$$\begin{aligned}
& - 11 - 0,0011 (Q_I - 14 - Q_{p2})^2 - 0,0027 (Q_I - 8 - Q_{p2})^2 + \\
& + 0,0007 (Q_{p2}^2 + 6Q_{p2} + 9) + 0,00018 Q_{p2}^2 + 6,3 = 0, \\
& - 4,7 - 0,0011(Q_I^2 - 28Q_I - 2Q_I Q_{p2} + 28Q_{p2} + 196 + Q_{p2}^2) - \\
& - 0,0027(Q_I^2 - 16Q_I - 2Q_I Q_{p2} + 16Q_{p2} + 64 + Q_{p2}^2) + \\
& + 0,0007Q_{p2}^2 + 0,0042Q_{p2} + 0,0063 + 0,00018Q_{p2}^2 = 0, \\
& - 4,69 - 0,0011Q_I^2 + 0,0308Q_I + 0,0022Q_I Q_{p2} - 0,0308Q_{p2} - 0,22 - \\
& - 0,0011Q_{p2}^2 - 0,0027Q_I^2 + 0,0432Q_I + 0,0054Q_I Q_{p2} - 0,0432Q_{p2} - \\
& 0,17 - \\
& - 0,0027Q_{p2}^2 + 0,0042Q_{p2} + 0,00088Q_{p2}^2 = 0, \\
& -5,08 - 0,0038Q_I^2 + 0,074Q_I + 0,0076Q_I Q_{p2} - 0,0698 Q_{p2} - \\
& 0,00292Q_{p2}^2 = 0.
\end{aligned}$$

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

$$\begin{cases}
-73,02 + 0,01138Q_1^2 - 0,105Q_1^2 - 0,0076Q_1Q_{p2} + \\
+ 0,074Q_{p2} + 0,0038Q_{p2}^2 = 0, \\
-5,08 - 0,0038Q_1^2 + 0,074Q_1 + 0,0076Q_1Q_{p2} - \\
- 0,0698Q_{p2} - 0,00292Q_{p2}^2 = 0, \\
Q_1 = 14 + Q_{p1} + Q_{p2}.
\end{cases}$$

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 $Q_{I\text{поч}}=20\text{л/с}$. Для наступних кроків витрата визначається за формулою

$$Q_{li} = Q_{l(i-1)} + \Delta Q,$$

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_1 , 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 $Q_1=270$ л/с.

в) Для величин Q_1 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 $Q_1=100$ 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:

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

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

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

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

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

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 1– 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 однакою. Насосна станція буде подавати витрату Q_1 , для якої отримана однакою 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 рівнянню 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.

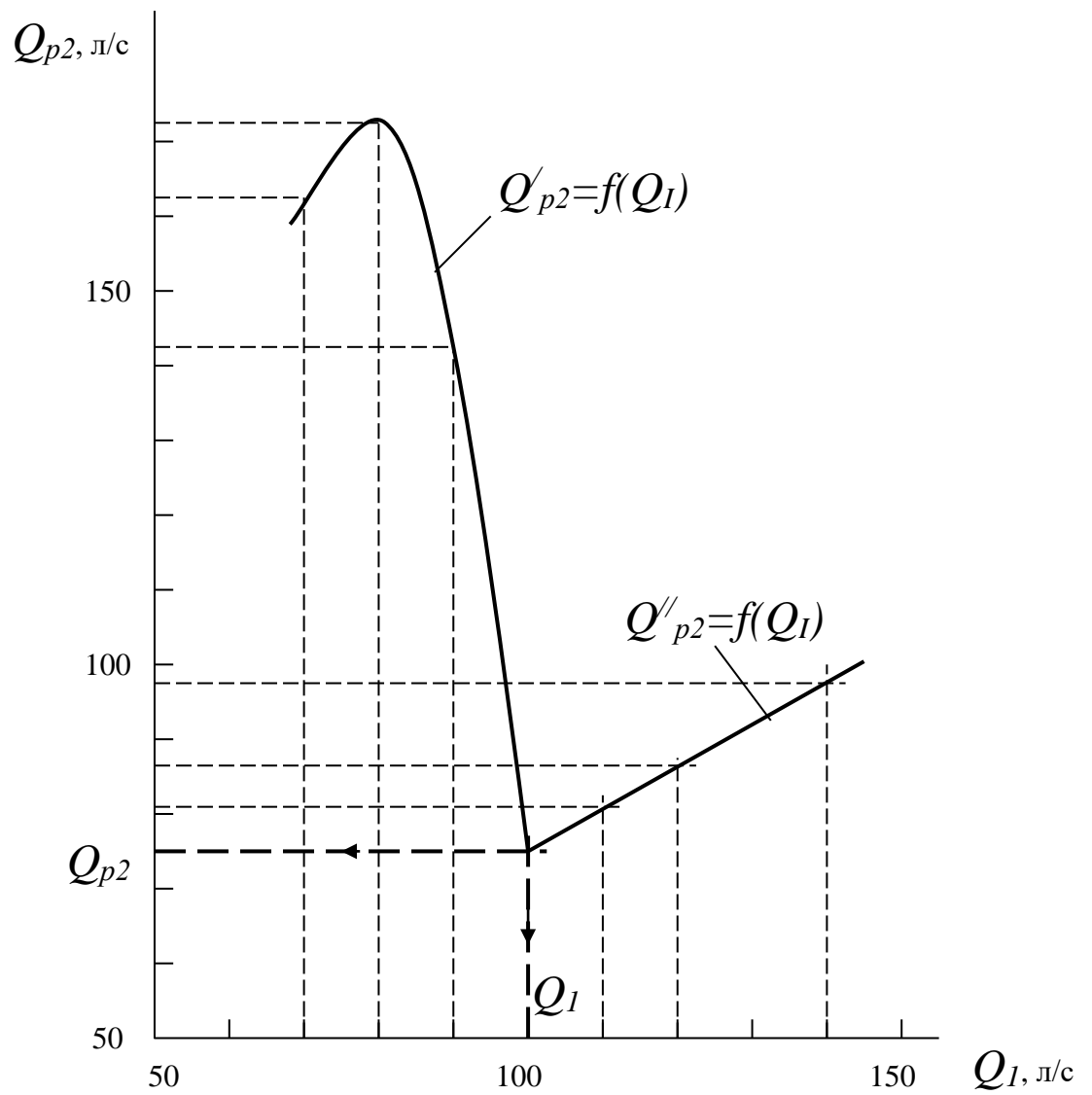


Рисунок 2 – Графічне розв'язування системи з першого і другого рівнянь

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

Питання для самоконтролю

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

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
$S_H \times 10^4$	(для Q в л/с)	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9

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