

Міністерство освіти і науки України
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

НОВОХАТНІЙ В.Г., КОСТЕНКО С.О., МАТЯШ О.В.

НАДІЙНІСТЬ ВОДОПОСТАЧАННЯ
МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Навчальний посібник

Полтава – 2019

УДК 628.1(072.5)

Н76

Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів: Навчальний посібник / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко, О.В. Матяш. – Полтава: ПолтНТУ, 2019 – 102 с.

Рецензенти:

Епоян С.М. – завідувач кафедри водопостачання, каналізації і гідравліки Харківського національного університету будівництва та архітектури, д.т.н., професор.

Єрмоленко Д.А. – професор кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, д.т.н., доцент.

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка
Протокол № 4 від 03.07.2018р.

Посібник включає чотири розділи. Перший розділ “Основи теорії надійності систем водопостачання” присвячено основним поняттям теорії надійності. У другому розділі “Методи розрахунку надійності споруд систем водопостачання” викладено принципи розрахунку надійності систем водопостачання малих населених пунктів. У третьому і четвертому розділах наведено приклади розрахунку надійності водопостачання малого населеного пункту. Особливо важливим є додатки А.1 – А.7, у яких представлені схеми насосних станцій та формули для обчислення їх надійності.

Робота над посібником розподілилась наступним чином: розділи 1, 2 розробив д.т.н., проф. Новохатній В.Г., розділ 3 – к.т.н., ст. викладач Костенко С.О., розділ 4 – к.т.н., доцент Матяш О.В., додатки розробив д.т.н., проф. Новохатній В.Г., а удосконалив їх к.т.н., ст. викладач Костенко С.О. Загальна редакція д.т.н., професора Новохатнього В.Г.

38.14.01.01

© Новохатній В.Г.

© Костенко С.О.

© Матяш О.В.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
ЧАСТИНА 1	
ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	7
РОЗДІЛ 1	
ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ З НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	
1.1 Основна термінологія з надійності.....	8
1.2 Вибір основних показників надійності водопровідних споруд	12
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СПОРУД СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	
2.1 Принципи розрахунку надійності системи водопостачання малого населеного пункту.....	15
2.2 Математична модель надійності подавально-розподільного комплексу (ПРК)	17
2.3 Математична модель надійності водопровідної мережі за вибраним напрямком.....	18
2.4 Математична модель надійності водогону.....	18
2.5 Математична модель надійності насосних станцій.....	19
2.5.1 Метод розрахунку безвідмовності насосних станцій.....	20
2.5.2 Метод розрахунку ремонтпридатності насосних станцій	20
2.6 Математична модель надійності свердловини.....	24
2.7 Графічне представлення результатів розрахунку безвідмовності	25
ЧАСТИНА 2	
РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ	26
РОЗДІЛ 3	
РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА	
3.1 Обчислення добової витрати води	27
3.2 Визначення витрати води у годину максимального водоспоживання	29
3.3 Вибір схеми системи водопостачання	30
3.4 Визначення діаметрів труб ділянок водопровідної мережі	30
3.5 Розрахунок надійності подавання води диктувальним споживачам.....	32
3.5.1 Розрахунок безвідмовності ділянок водогону і мережі	32
3.5.2 Розрахунок надійності насосної станції 2-го підняття.....	32
3.5.3 Розрахунок надійності подавання води на напрямками подавання води.....	36
3.6 Розрахунок надійності насосної станції 2-го підняття на ПЕОМ.....	38
3.7 Графічне представлення результатів безперервності водопостачання диктувальних споживачів.....	40
ВИСНОВКИ.....	43

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПІДЗЕМНОГО
ДЖЕРЕЛА

4.1	Визначення обсягу водоспоживання.....	44
4.2	Визначення витрати води у годину максимального водоспоживання	46
4.3	Вибір джерела водопостачання	47
4.4	Вибір схеми системи водопостачання та трасування водопровідної мережі.....	48
4.5	Підготовка водопровідної мережі до розрахунку.....	49
4.5.1	Визначення довжин ділянок мережі	49
4.5.2	Визначення питомих витрат води	49
4.5.3	Визначення шляхових витрат води	50
4.5.4	Визначення вузлових витрат води	50
4.5.5	Потокорозподіл води та призначення діаметрів ділянок мережі	51
4.6	Обчислення показників надійності свердловини	54
4.7	Обчислення показників надійності водогону	55
4.8	Надійність водопостачання за напрямками подавання води.....	56
	ВИСНОВКИ.....	60
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
	ДОДАТОК А.1	64
	ДОДАТОК А.2	65
	ДОДАТОК А.3	68
	ДОДАТОК А.4	73
	ДОДАТОК А.5	79
	ДОДАТОК А.6.....	87
	ДОДАТОК А.7	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи протягом часу t .
- T – середнє напрацювання на відмову, год.
- $T_{НС}$ – середнє напрацювання на відмову насосної станції, год.
- $T_{вод}$ – середнє напрацювання на відмову водогону, год.
- $T_{м}$ – середнє напрацювання на відмову мережі за вибраним напрямком, год.
- ω – середній параметр потоку відмов, 1/год.
- $\omega_{зм}$ – параметр потоку відмов мережевої засувки, 1/год.
- ω_T – параметр потоку відмов трубопроводу водогону, 1/год.
- ω_n – параметр потоку відмов насосного агрегата, 1/год.
- ω_k – параметр потоку відмов зворотного клапана, 1/год.
- ω_z – параметр потоку відмов засувки, 1/год.
- $\omega_{НС}$ – середній параметр потоку відмов насосної станції, 1/год.
- v_i – вклад i -го елемента у параметр потоку відмов, 1/год.
- ω_{0_i} – питомий параметр потоку відмов трубопроводу i -го діаметра та матеріалу труб, 1/год·км.
- ω_i – параметр потоку відмов i -ої ділянки мережі, 1/год.
- ω_m – параметр потоку відмов мережі за вибраним напрямком, 1/год.
- $\omega_{вод}$ – параметр потоку відмов водогону, 1/год.
- $\mu(\tau)$ – інтенсивність відновлення працездатності, 1/год.
- T_B – середній час відновлення працездатності, год.
- $T_{B_{нс}}$ – середній час відновлення працездатності насосної станції, год.
- $T_{B_{вод}}$ – середній час відновлення працездатності водогону, год.
- T_{B_m} – середній час відновлення працездатності мережі за вибраним напрямком, год.
- T_{B_i} – середній час відновлення працездатності i -ої ділянки мережі, год.
- T_{B_z} – середній час відновлення працездатності мережевої засувки, год.
- T_{B_T} – середній час відновлення працездатності трубопроводу водогону, год.
- $T_{B_{НС-2}}$ – середній час відновлення працездатності насосної станції 2-го підняття, год.
- K_G – стаціонарний коефіцієнт готовності.
- K_P – стаціонарний коефіцієнт простою.

ВСТУП

Системи водопостачання, як і всі технічні системи обслуговування, повинні відповідати своєму призначенню – мати здатність надійно виконувати функції, для яких вони призначені та повинні мати мінімальні затрати на будівництво та експлуатацію. Основною функцією системи водопостачання є подавання води споживачам у необхідній кількості під потрібним напором. Якщо споживачами води є фізичні особи, тобто люди, потрібно витримати й відповідну якість цієї води, яка повинна відповідати ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [1].

Проте, для практичних цілей наявності вказаних умов недостатньо. Необхідно отримати упевненість у тому, що система водопостачання в процесі її експлуатації не тільки зможе, але і фактично працюватиме, зберігаючи вказані функції без недопустимих перерв подавання води, зниження напорів чи погіршення якості води. Подібна упевненість може бути обґрунтованою, коли буде оцінена і забезпечена необхідна надійність системи. Тобто, надійність – це ще одна з основних функцій системи водопостачання.

Надійність водопостачання як технологічного процесу напряму залежить від надійності системи водопостачання як комплексу взаємодіючих споруд. Отже, оцінити надійність водопостачання окремих споживачів води можна тільки після розрахунку надійності окремих водопровідних споруд, які лежать на шляху подавання води. У даній роботі показана така можливість на прикладах системи водопостачання малих населених пунктів (селищ міського типу і сіл). При цьому вважається, що потрібні напори витримуються завдяки гідравлічному розрахунку, а вода, що подається у водопровідну мережу, має питну якість. Виконані розрахунки надійності дозволяють відповісти на два питання – як часто будуть відбуватись перерви водопостачання та як довго триватиме відновлення водопостачання у споживачів води малого населеного пункту.

ЧАСТИНА 1

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ З НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Основна термінологія з надійності

У офіційно прийнятій технічній термінології [2] дається наступне визначення поняття надійності.

Надійність – це властивість об’єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Об’єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

Сформулюємо поняття надійності відносно системи водопостачання.

Надійність – це властивість системи водопостачання подавати воду споживачам зі збереженням у часі наступних параметрів:

- кількості води і режиму подавання;
- потрібного напору.

Відповідно до вимог споживача також потрібно враховувати:

- якість води;
- допустиму частоту перерв водопостачання;
- допустимий час відновлення водопостачання.

Надійність є комплексною властивістю, що залежить від призначення об’єкта і умов його застосування, та містить у собі безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність і збережуваність, чи певні поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – це властивість об’єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи напрацювання.

В теорії водопостачання широко вживається термін **безперервність** водопостачання. Щоб уявити взаємний зв’язок цих понять потрібно звернутись до наступних базових понять наведених в ДСТУ 2569-94 [3].

Система водопостачання (водопровід) – це комплекс споруд для забезпечення споживачів водою певної якості.

Водопостачання – це технологічний процес подавання споживачам води певної якості.

Споживач води формулює вимоги щодо частоти перерв водопостачання, а фахівець з розроблення систем водопостачання повинен виконати ці вимоги шляхом розрахунку надійності як водопровідних споруд, так і системи водопостачання в цілому. Тому можна сказати, що розрахунковий рівень безвідмовності систе-

ми водопостачання повинен забезпечувати відповідний рівень безперервності водопостачання споживачів.

Ремонтопридатність – це властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції шляхом технічного обслуговування та ремонту.

Вказану властивість мають як окремі водопровідні споруди, так і система водопостачання в цілому. Але якщо розглядати водопостачання як технологічний процес, то для споживача води важлива така характеристика як **відновлюваність** водопостачання. Тобто споживач формулює вимоги щодо тривалості перерви водопостачання, а фахівці з водопостачання повинні реалізувати таку ремонтпридатність як водопровідних споруд, так і системи водопостачання в цілому, щоб можна було виконати ці вимоги споживача.

Довговічність – це властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту. Ця властивість розглядається дещо окремо, тому що споживач води не висуває щодо цієї властивості якихось вимог. Довговічність аналізується тільки фахівцями з водопостачання, щодо довговічності водопровідних споруд і мереж з урахуванням економічних умов.

Збережуваність – це властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та (чи) транспортування. Ця властивість також аналізується тільки фахівцями з водопостачання і стосується, в основному, матеріалів чи реактивів, які використовуються при водопідготуванні.

Готовність – це властивість об'єкта бути здатним виконувати потрібні функції в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами. Ця властивість є поєднанням властивостей безвідмовності та ремонтпридатності.

У даній роботі аналізуються і використовуються дві основні властивості надійності, а саме – безвідмовність і ремонтпридатність. Визначальними при цьому є поняття відмови та відновлюваності елемента або споруди.

Відмова – це подія, що полягає у втраті працездатності водопровідної споруди або її елемента. Відповідно, у технологічному процесі водопостачання відмова споруди може викликати перерву водопостачання чи зниження величини подачі води.

Критерій відмови – ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану водопровідної споруди або її елемента, які встановлені у нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації. Критерій відмови повинен встановлюватись кожного разу окремо для кожної ситуації, що аналізується. Тобто, обов'язково потрібно аналізувати наслідки відмови для споживача водопровідної

споруди або системи водопостачання у цілому. При цьому потрібно визначити, що це буде – перерва водопостачання чи зниження величини подачі води. Показники надійності невідновлюваних і відновлюваних об'єктів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Показники надійності

Невідновлювані об'єкти		Відновлювані об'єкти		
Безвідмовність	Довговічність	Безвідмовність	Ремонтопридатність	Довговічність
Функціональні характеристики				
$F(t)$	$F_d(t)$	$F(t)$	$F_B(t)$	$F_d(t)$
$P(t)$		$\omega(t)$		
$\lambda(t)$		$K_r(t)$		
Числові характеристики				
T	T_γ	T	T_B	T_γ
$P(t)$		ω		
		$K_r, K_{ог}$		

Умовні позначення

- $F(t)$ – інтегральний закон розподілу тривалості безвідмовної роботи;
 $F_B(t)$ – інтегральний закон розподілу тривалості відновлення працездатності;
 $F_d(t)$ – інтегральний закон розподілу часу до граничного стану;
 $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи за час t ;
 $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
 $\omega(t)$ – параметр потоку відмов;
 T – середнє напрацювання на відмову;
 T_B – середній час відновлення працездатності;
 T_γ – гама-відсотковий ресурс;
 ω – середнє значення параметра потоку відмов;
 $K_r(t)$ – імовірність працездатного стану у момент часу t ;
 K_r – коефіцієнт готовності;
 $K_{ог}$ – коефіцієнт оперативної готовності.

Показники безвідмовності.

Ймовірність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що протягом заданого відрізка часу відмова водопровідної споруди або її елемента не відбудеться.

Параметр потоку відмов – це відношення математичного сподівання кількості відмов водопровідної споруди або її елемента до напрацювання за досить малий відрізок часу.

Напрацювання на відмову – це випадковий час роботи водопровідної споруди або її елемента від відновлення після ремонту до наступної відмови.

Середнє напрацювання на відмову – це відношення сумарного напрацювання роботи водопровідної споруди або її елемента до математичного сподівання числа її відмов протягом зафіксованого відрізка часу. Отже, середнє напрацювання на відмову – це середній час роботи водопровідної споруди або її елемента від відновлення після ремонту до наступної відмови.

Показники ремонтпридатності.

Ймовірність відновлення – це ймовірність того, що час відновлення працездатного стану водопровідної споруди або її елемента не перевищить заданого значення.

Інтенсивність відновлення – це умовна густина ймовірності відновлення працездатності об'єкта, визначена для одного моменту часу, за умови, що до цього моменту відновлення не завершилося. Це величина, яка обернена до середнього часу відновлення працездатності.

Тривалість відновлення – це випадковий інтервал часу, протягом якого водопровідна споруда або її елемент перебуває в непрацездатному стані через відмову.

Середній час відновлення працездатності – це математичне сподівання часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови, тобто – це середній час відновлення працездатності водопровідної споруди або її елемента.

Комплексні показники безвідмовності та ремонтпридатності.

Коефіцієнт готовності – це ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Коефіцієнт простою – це ймовірність того, що об'єкт виявиться непрацездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Усі оцінки числових значень показників надійності мають ймовірнісний характер. Тому, базуючись на даних експлуатації аналогічних елементів або споруд можна визначити: ймовірність їх безвідмовної роботи протягом заданого часу, ймовірне середнє число відмов у заданий проміжок часу та інші числові показники, що пов'язані з оцінюванням надійності. Чим більше об'єм використаного ста-

тистичного матеріалу, тим точнішими будуть показники надійності, які отримані в результаті математичного оброблення цього матеріалу.

1.2 Вибір основних показників надійності водопровідних споруд

На етапі проектування системи водопостачання надто важливою задачею є вибір основних показників надійності зі вказаного переліку показників. Суть у тому, що при оцінюванні надійності системи водопостачання або водопровідної споруди за різними показниками можна отримати протилежні висновки. В теорії надійності розроблена методика вибору основних показників надійності [4]. Основою такого вибору є домінуючі фактори та наслідки, які виникають у разі відмови системи водопостачання.

Домінуючими факторами, що принципово відрізняються при оцінюванні наслідків відмови системи водопостачання, можна виділити тільки два: **небезпека** перерви у водопостачанні та **тривалість** перерви, а тому споживачів води треба поділити на дві групи. **Перша група** – виробництва з безперервним технологічним процесом у атомній енергетиці, металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній промисловості, із застосуванням вибухонебезпечних, отруйних речовин, ядерного та ракетного палива і т. ін. Домінуючою є **небезпека** перерви у водопостачанні, оскільки вона може викликати загибель людей або екологічну катастрофу. Усіх інших споживачів, які не увійшли у першу групу слід віднести до **другої групи**. Домінуючою для них є **тривалість** перерви у водопостачанні, що призводить до звичайних матеріальних чи моральних утрат. До цієї групи включені і централізовані системи водопостачання населених пунктів (комунальні водопроводи). Комунальні системи водопостачання, які обслуговують споживачів другої групи є сенс розділити на три наступні категорії.

Перша категорія – міста з числом жителів $N \geq 50\ 000$ – допускаються перерви у водопостачанні споживачів не більше 3-ох годин на добу та не частіше одного разу на 3 місяця. Така норма була прийнята у Великобританії в 1985р.

Друга категорія – міста з числом жителів $10\ 000 \leq N < 50\ 000$ – допускаються перерви у водопостачанні не більше 6-ти годин на добу та не частіше двох разів на місяць. Така норма відповідає “Правилам надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення” (постанова Кабінету Міністрів України №630 від 21.07.2005р.)[5].

Третя категорія – селища міського типу та села з числом жителів $N < 10\ 000$ – допускаються перерви у водопостачанні не більше 24-ох годин (аналогічно ДБН В.2.5-74:2013 [6]) та не частіше двох разів на місяць (аналогічно “Правилам надання послуг”[5]).

Таким чином, кількісною мірою виникнення відмов для систем водопостачання **першої** групи доцільно взяти ймовірність виникнення відмови $Q(t)$ протягом часу роботи t . Протилежна їй ймовірність $P(t) = 1 - Q(t)$ – це ймовірність безвідмовної роботи системи водопостачання

$$P(t) = P\{t \geq t_i\}, \quad (1.1)$$

де t_i - довільний відрізок часу.

Отже, для систем водопостачання **першої** групи основним показником надійності повинна бути ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ протягом часу t .

Окремий основний показник надійності потрібно використовувати для систем протипожежного водопостачання, які також віднесені до першої групи. Особливістю роботи цих систем є те, що вони повинні постійно знаходитись у працездатному стані, але у режимі очікування. Тобто система протипожежного водопостачання має запрацювати у довільний момент часу та пропрацювати безперервно протягом заданого відрізка часу τ . Для цих систем основним показником надійності буде коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}$, який обчислюється за формулою

$$K_{ог} = K_r P(\tau), \quad (1.2)$$

де $P(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи протипожежного водопостачання протягом заданого відрізка часу τ (3-ох годин локалізації пожежі);

K_r – коефіцієнт готовності системи протипожежного водопостачання.

Коефіцієнт оперативної готовності визначає ймовірність того, що у будь-який момент часу система протипожежного водопостачання знаходиться у працездатному стані та у довільний момент часу зможе увімкнутись та пропрацює безвідмовно протягом часу τ (протягом 3-ох годин локалізації пожежі).

Для систем водопостачання **другої** групи доцільно базовими показниками надійності прийняти середнє напрацювання системи водопостачання на відмову T та середній час відновлення працездатності системи водопостачання T_B . Вказані показники є первинними й, окрім того, треба мати їх «згортку», адже ці показники можуть урахуватись одночасно. Таким комплексним показником є коефіцієнт готовності K_r , що характеризує готовність системи до виконання своїх функцій та який, для сталих умов експлуатації, обчислюється за формулою

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}. \quad (1.3)$$

Протилежним йому є коефіцієнт простою $K_{п}$, який характеризує ймовірність того, що у довільний момент часу система знаходиться у непрацездатному стані та обчислюється за формулою

$$K_{п} = 1 - K_r \cong \frac{T_B}{T}. \quad (1.4)$$

Отже, для систем водопостачання **другої** групи основним показником надійності слід прийняти коефіцієнт готовності K_r або протилежний йому коефіцієнт

ент простою $K_{П}$, а базовими показниками – середнє напрацювання та відмову T та середній час відновлення працездатності T_B .

Споживачів води і системи водопостачання у населених пунктах потрібно віднести до **другої** групи споживачів та систем водопостачання. Підтвердженням цього є те, що «Правила надання послуг»[5] дозволяють перерви у водопостачанні, але вимагають, щоб «допустимий термін відхилення показників із безперервного водопостачання складав не більше 6 годин на добу та не більше 2-ох разів на місяць». Це відповідає наступним нерівностям:

- середнє напрацювання на відмову $T \geq 360 \text{ год}$;
- середній час відновлення працездатності $T_B \leq 6 \text{ год}$.

Ураховуючи викладене вище, Новохатній В.Г. розробив [7] обґрунтовану класифікацію систем водопостачання за надійністю (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Класифікація споживачів і систем водопостачання за надійністю

Групи споживачів	Групи та категорії систем водопостачання	Значення основних та базових показників надійності		
1	Перша група Підгрупа А – системи водопостачання небезпечних виробництв	Максимум імовірності безвідмовної роботи протягом терміну служби $\max P(T_{сл})$		
	Підгрупа Б – протипожежні системи водопостачання	Максимум коефіцієнта оперативної готовності за 3 години локалізації пожежі $\max K_{ог} = K_{г} \cdot P(\tau)$		
2	Друга група Централізовані водопроводи населених пунктів при кількості жителів	Напрацювання на відмову T , год	Середній час відновлення працездатності T_B , год	Коефіцієнт готовності $K_{г}$
	1 категорія міста $N \geq 50$ тис. жителів	$T \geq 2160 \text{ год}$ (3 місяця)	$T_B \leq 3 \text{ год}$	0,99861
	2 категорія міста $10 \text{ тис.} \leq N \leq 50 \text{ тис.}$ жителів	$T \geq 360 \text{ год}$ (0,5 місяця)	$T_B \leq 6 \text{ год}$	0,98361
	3 категорія смт. та села $N < 10 \text{ тис.}$ жителів	$T \geq 360 \text{ год}$ (0,5 місяця)	$T_B \leq 24 \text{ год}$	0,93750

У даному посібнику розроблено методи розрахунку надійності комунальних водопроводів населених пунктів 3-ої категорії. При цьому повинні виконуватись нерівності $T \geq 360 \text{ год}$; $T_B \leq 24 \text{ год}$.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СПОРУД СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Принципи розрахунку надійності системи водопостачання малого населеного пункту

Для системи централізованого господарсько-питного водопостачання об'єктів, що мають незначну протяжність (села, селища міського типу та ін.), або для об'єктів, що розташовані на відстанях, що перевищують десятки й сотні кілометрів (групові водопроводи), застосовують водопровідні мережі розгалуженого типу. Згідно з ДБН В.2.5-74:2013 [4, п. 12.5] централізовані системи господарсько-питного водопостачання у населених пунктах можуть мати розгалужену водопровідну мережу необмеженої протяжності, якщо ці системи не використовуються для пожежогасіння, а діаметри труб не перевищують 100мм.

Перевагою розгалуженої мережі є її невисока вартість, а недоліком – низька надійність. Існуюча методика розрахунку систем водопостачання сільських населених пунктів [8] не враховує надійність подавання води споживачам. Проте, “Правила надання послуг” [5] встановлюють вимоги щодо надійності водопостачання, але не враховують наслідків перерви водопостачання. З урахуванням цих наслідків будемо використовувати розроблену класифікацію (табл. 1.2). Таким чином, складовою частиною технологічних розрахунків повинні бути розрахунки надійності.

Основною причиною складності розрахунків надійності є те, що споруди систем водопостачання у процесі експлуатації можуть послідовно перебувати у значній кількості частково працездатних станів, а тому важко сформулювати факт відмови, як момент переходу з працездатного стану в непрацездатний стан. На даний час при розрахунках надійності залишається недостатньо визначеним термін "споживач води". Закон України “Про питну воду та питне водопостачання” [9] встановив, що "Споживач питної води – це юридична або фізична особа, яка використовує питну воду для забезпечення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб." Споживачами води у малому населеному пункті слід вважати сім'ю людей, котра проживає в одній садибі або квартирі. А ще точніше, споживач – це та фізична особа (абонент), який платить за послуги з водопостачання у даній садибі або квартирі. При розрахунках водогонів групових систем сільськогосподарського водопостачання споживачем води доцільно прийняти населений пункт.

Ще складніше встановити критерій відмови, без якого неможливо аналізувати надійність. Зрозуміло, що критерієм відмови системи водопостачання для

споживача-абонента є відсутність води у садибі або квартирі. Але чи буде це вважатись відмовою системи водопостачання з точки зору експлуатаційної організації? Ситуація, коли в одній з декількох сотень садиб або квартир селища відсутня вода, з точки зору експлуатаційної організації не може вважатись відмовою для системи у цілому. Можна сказати, що це часткова відмова системи. Тоді повною відмовою буде ситуація, коли у всіх споживачів немає води, а працездатним станом системи водопостачання буде вважатись навіть така ситуація, коли тільки у одного зі споживачів буде вода. Така оцінка надійності важлива для експлуатаційної організації. А споживача цікавить тільки те, як часто і як довго буде відсутня вода у його квартирі або садибі та чи відповідає це встановленим вимогам з надійності водопостачання. Зважаючи на все вищесказане, під надійністю системи водопостачання будемо розуміти її здатність забезпечити вимоги споживача води щодо частоти та тривалості перерв у водопостачанні за умови, що якість води відповідає вимогам ДСТУ [1]. Маючи на увазі те, що вода подається розгалуженою мережею, будемо розглядати напрямки подавання води від вододжерела до кінцевих споживачів, котрі знаходяться в найгірших умовах з точки зору надійності. Цих споживачів назвемо диктувальними і будемо визначати те як часто і як довго у них буде відсутня вода. Таким чином, критерієм відмови системи водопостачання за напрямком подавання води будемо вважати відсутність води у диктувального споживача.

Для подальших розрахунків надійності введемо наступні визначення.

Споживач питної води – юридична або фізична особа (власник садиби або квартири – абонент), що використовує воду для господарсько-питних потреб.

Диктувальний споживач – споживач, який розташований у кінцевому (за шляхом руху води) вузлі мережі.

Працездатний стан системи за вибраним напрямком – наявність води у диктувального споживача – працездатний стан усіх споруд на шляху від джерела водопостачання до диктувального споживача.

Непрацездатний стан системи за вибраним напрямком – відсутність води у даного споживача – відмова хоча б однієї із споруд на шляху від джерела водопостачання до даного споживача.

Відмова системи водопостачання за вибраним напрямком – момент переходу системи з працездатного в непрацездатний стан. Зважаючи на те, що дана система є господарсько-питною і не виконує протипожежних функцій, базовими показниками надійності системи водопостачання за вибраним напрямком слід прийняти **середнє напрацювання на відмову T** та **середню тривалість відновлення працездатності T_B** , а основним – комплексний показник – **коефіцієнт готовності системи водопостачання K_G** за напрямком подавання води.

2.2 Математична модель надійності подавально-розподільного комплексу (ПРК)

Подавально-розподільний комплекс централізованої системи водопостачання включає наступні споруди:

- насосну станцію 2-го підняття, водогін, водопровідну мережу (при забиранні води з поверхневого джерела);
- свердловину, водогін, водопровідну мережу (при забиранні води з підземного джерела).

Математичною моделлю для розрахунків надійності подавально-розподільного комплексу (ПРК) систем водопостачання з мережами розгалуженого типу, за напрямком подавання води від вододжерела до диктувального споживача, є послідовне поєднання відновлюваних елементів(споруд). У такому разі використовуємо для розрахунків наступні залежності.

Параметр потоку відмов ПРК за вибраним напрямком

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i, \text{ 1/год,} \quad (2.1)$$

де ω_i – параметр потоку відмов i -ої споруди, 1/год.

Середнє напрацювання на відмову ПРК за вибраним напрямком

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \text{ год.} \quad (2.2)$$

Середній час відновлення працездатності ПРК за вибраним напрямком

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_i} \omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \text{ год,} \quad (2.3)$$

де T_{B_i} – середня тривалість відновлення працездатності i -ої споруди, год.

Коефіцієнт готовності ПРК за вибраним напрямком

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт простою ПРК за вибраним напрямком

$$K_{II} = 1 - K_r \quad (2.5)$$

2.3 Математична модель надійності водопровідної мережі за вибраним напрямком

Параметр потоку відмов i -ої ділянки мережі

$$\omega_{\partial_i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i, 1/\text{год}, \quad (2.6)$$

де L_i – довжина ділянки трубопроводу i -го діаметра, км;

ω_{0_i} – питомий параметр потоку відмов трубопроводу i -го діаметра та матеріалу труб, 1/год·км.

Параметр потоку відмов мережі за вибраним напрямком

$$\omega_m = \sum_{i=1}^n \omega_{\partial_i}, 1/\text{год}, \quad (2.7)$$

де n – кількість ділянок мережі за вибраним напрямком.

Середня тривалість відновлення працездатності мережі за вибраним напрямком

$$T_{B_m} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_{\partial_i}} \omega_{\partial_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{\partial_i}}, \text{год}, \quad (2.8)$$

де $T_{B_{\partial_i}}$ – середня тривалість відновлення працездатності i -ої ділянки мережі за вибраним напрямком, год.

2.4 Математична модель надійності водогону

При застосуванні розгалужених водопровідних мереж водогони прокладають в одну нитку. Формули для розрахунку надійності мають такий же вигляд, як і для мережі.

Параметр потоку відмов i -ої ділянки водогону

$$\omega_{\partial_i} = \omega_{0_i} L_i, 1/\text{рік}, \quad (2.9)$$

де L_i – довжина ділянки водогону i -го діаметра та матеріалу труб, км.;

ω_{0_i} – питомий параметр потоку відмов ділянки водогону i -го діаметра та матеріалу труб, 1/рік·км.

Параметр потоку відмов водогону

$$\omega_{\text{вод}} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{\partial_i}}{8760}, 1/\text{год}, \quad (2.10)$$

де n – кількість ділянок водогону за вибраним напрямком.

Напрацювання на відмову водогону

$$T = \frac{1}{\omega_{\text{вод}}}, \text{ год.} \quad (2.11)$$

Середній час відновлення працездатності водогону за вибраним напрямком обчислюємо як середньозважену величину за формулою

$$T_{\text{вод}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_i} \omega_{\theta_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{\theta_i}}, \text{ год,} \quad (2.12)$$

де T_{B_i} – середній час відновлення працездатності i -ої ділянки водогону, год.

2.5 Математична модель надійності насосних станцій

Надійність насосних станцій визначається надійністю їх основних складових частин – технологічної, електричної, автоматичної. Фахівці з водопостачання розробляють технологічну частину, яка повинна мати відповідну надійність. Зважаючи на те, що для насосних станцій найважливішими властивостями є безвідмовність і ремонтпридатність, задача зводиться до обчислення кількісних показників вказаних властивостей.

Елементами технологічної частини насосної станції приймають насосні агрегати, засувки та зворотні клапани. Аналіз статистичних даних експлуатації показує, що трубопроводи, які поєднують ці елементи, мають значно вищу надійність, а тому вважається таким, що не відмовляють у процесі функціонування насосної станції.

В теорії надійності широко розроблені методи розрахунку надійності елементів, які мають послідовне або паралельне поєднання. Але в технологічній частині насосних станцій елементи мають мішане поєднання, тобто таке, яке неможливо привести до послідовного, чи паралельного, чи послідовно-паралельного. В теорії надійності розроблені методи для розрахунку структур з мішаним поєднанням елементів [10], але точні формули громіздкі, а тому не знаходять широкого застосування в інженерних розрахунках.

В.Г. Новохатній розробив методи розрахунку безвідмовності [11] та ремонтпридатності технологічної частини насосних станцій [12, 15] на основі евристичного методу “вкладів” оцінювання надійності відновлюваних систем, який розробив у теорії надійності І.О. Ушаков [13].

2.5.1 Метод розрахунку безвідмовності насосних станцій

Для насосних станцій “вклади” елементів у потік відмов насосної станції обчислюються за формулою (2.13)

$$v_i = \begin{cases} \omega_i & \text{– відмова елемента призводить до відмови насосної станції;} \\ \omega_i \sum_{s=1}^k K_{\Pi_j} & \text{– відмова насосної станції відбувається у разі збігу відмови } i\text{-го елемента з ремонтом } j\text{-го елемента,} \end{cases} \quad (2.13)$$

де ω_i – параметр потоку відмов i -го елемента, 1/год;

K_{Π_j} – коефіцієнт простою j -го елемента, який обчислюється за формулою

$$K_{\Pi_j} = \omega_j T_{B_j}, \quad (2.14)$$

де T_{B_j} – середній час відновлення працездатності j -го елемента, год.

Параметр потоку відмов насосної станції обчислюється як сума вкладів усіх N елементів

$$\omega_{nc} = \sum_{i=1}^N v_i, \quad 1/\text{год.} \quad (2.15)$$

Середнє напрацювання на відмову насосної станції

$$T_{nc} = \frac{1}{\omega_{nc}}, \quad \text{год.} \quad (2.16)$$

2.5.2 Метод розрахунку ремонтпридатності насосних станцій

Суть методу зводиться до наступних дій:

- будь-які два елемента технологічної схеми насосної станції, які зв’язані відповідним чином через структуру, умовно поєднуємо в один укрупнений елемент; цей елемент можна охарактеризувати процесом відновлення, тобто інтервалами часу нормальної роботи і простоїв; за рахунок поєднання елементів технологічна схема насосної станції, яка складалась з k елементів, зменшилась до $(k - 1)$ елемента;

- повторюємо операцію послідовного об’єднання елементів і зводимо всю технологічну схему до одного еквівалентного елемента, для якого відомий відповідний процес відновлення;

- обчислюємо для еквівалентного елемента середній час роботи між відмовами (напрацювання на відмову) T та середній час відновлення T_B .

І.О. Ушаков доказує [13], що точність формул для обчислення T і T_B за цим методом достатньо висока у разі, якщо інтервали безвідмовної роботи кожного елемента значно більші відповідних інтервалів простоїв. Вказана умова викону-

ється для насосних станцій, де $\frac{T_B}{T}$ знаходиться в межах 0,005 ... 0,02 для окремих елементів.

Розглянемо технологічну схему насосної станції, яка складається з k елементів та має параметр потоку відмов ω_{nc} . Можна побудувати еквівалентну структуру, яка складається з послідовного поєднання фіктивних елементів, для яких виконується умова

$$\omega_{nc} \cong \sum_{i=1}^u \omega_i^\phi, 1/\text{год}, \quad (2.17)$$

де ω_i^ϕ – параметр потоку відмов i -го фіктивного елемента, 1/год;
 r – кількість фіктивних елементів.

Якщо відомий середній час відновлення фіктивних елементів $T_{B_i}^\phi$, то можна визначити середній час відновлення працездатності системи, як для чисто послідовного поєднання

$$T_{B_{nc}} = \frac{\sum_{i=1}^u \omega_i^\phi T_{B_i}^\phi}{\sum_{i=1}^u \omega_i^\phi}, \text{год}. \quad (2.18)$$

Зважаючи на те, що кожний укрупнений елемент вносить свій “вклад” v_i у загальний потік відмов насосної станції, а параметр потоку відмов насосної станції визначається як сума вкладів усіх N укрупнених елементів, мішану структуру насосної станції умовно перетворено у послідовно поєднану структуру, яка складається з фіктивних елементів у кількості $r = N$. Відповідні показники безвідмовності цих елементів $\omega_i^\phi = v_i$ та ремонтпридатності $T_{B_i}^\phi = T_{B_i}$.

Середній час відновлення працездатності насосної станції обчислюється як середньозважена за “вкладами” величина за формулою

$$T_{B_{nc}} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i T_{B_i}}{\sum_{i=1}^N v_i} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i T_{B_i}}{\omega_{nc}}, \text{год}, \quad (2.19)$$

де v_i – “вклад” i -го укрупненого елемента у загальний потік відмов насосної станції, 1/год;

T_{B_i} – середній час відновлення працездатності i -го укрупненого елемента, год;

N – кількість укрупнених елементів насосної станції.

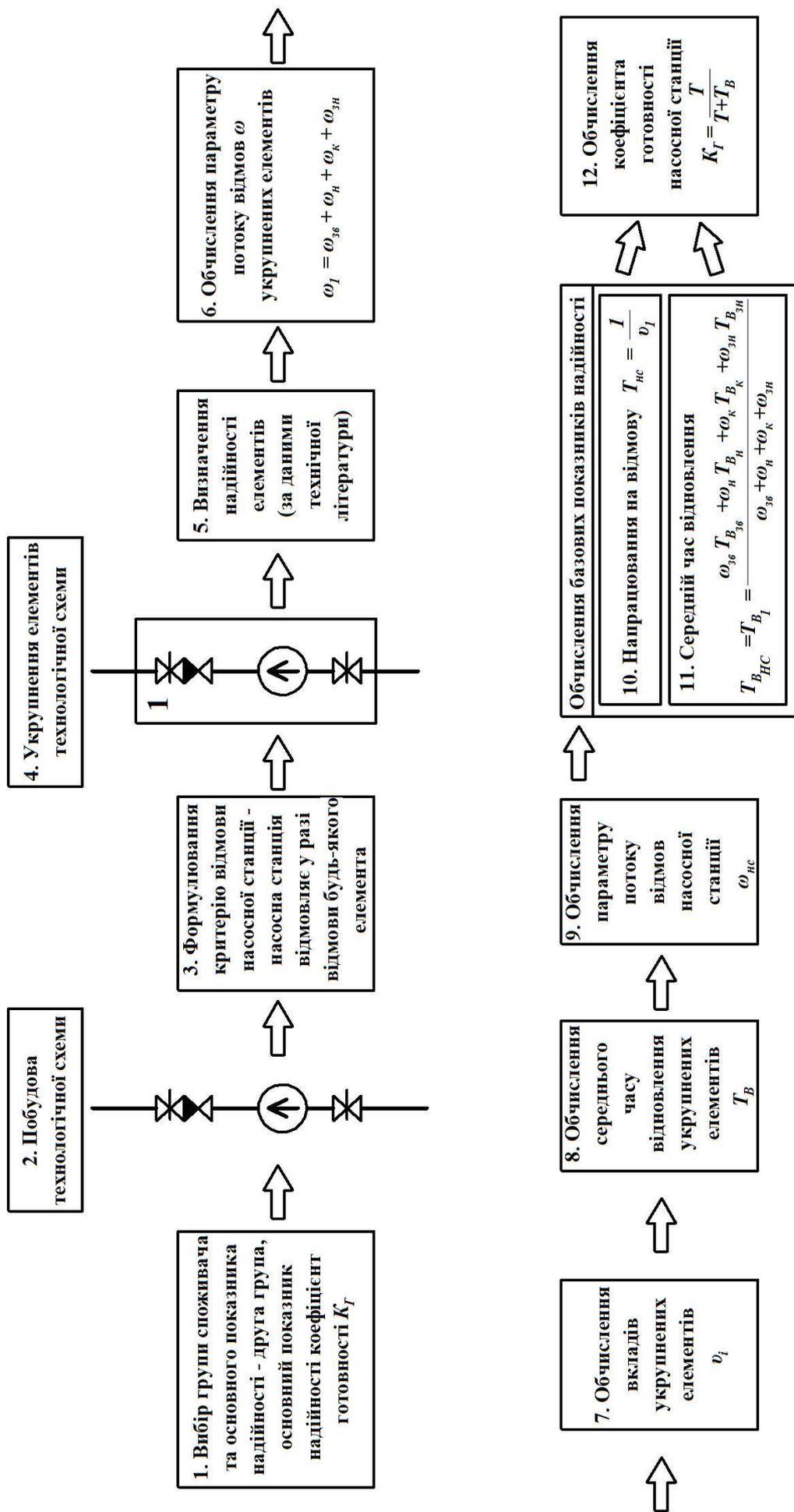


Рис. 2.1 Алгоритм обчислення основного показника надійності насосної станції K_T - для споживачів другої групи (на прикладі одного насосного агрегата)

ω_n - параметр потоку відмов насосного агрегата;
 ω_{36} - параметр потоку відмов засувки на всмоктувальній лінії;
 ω_{3n} - параметр потоку відмов засувки на напірній лінії;
 ω_k - параметр потоку відмов зворотного клапана;
 v_i - вклад i -го елемента у потік відмов насосної станції;
 T_{B_i} - середній час відновлення i -го елемента;
 $T_{нс}$ - напрацювання на відмову насосної станції.

Коефіцієнт готовності насосної станції

$$K_G = \frac{T_{nc}}{T_{nc} + T_{B_{nc}}}. \quad (2.20)$$

Алгоритм обчислення основного показника надійності насосної станції приведено на рис. 2.1.

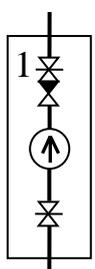
Для спрощення розрахунків безвідмовності і ремонтпридатності насосних станцій В.Г. Новохатній уклад [14] систематизований ряд насосних станцій. При цьому були вирішені наступні задачі:

а) з використанням проектних даних, практики експлуатації та технічної літератури побудовані технологічні схеми насосних станцій;

б) схеми розташовані у порядку збільшення структурної надлишковості, що дозволяє просто віднайти декілька конкурентних варіантів схем;

в) для кожної схеми побудовані формули для обчислення напрацювання на відмову T_{nc} і середнього часу відновлення працездатності $T_{B_{nc}}$, що дозволяє обчислити коефіцієнт готовності K_G за формулою 2.20.

С.О. Костенко доповнив цей систематизований ряд та розробив комп'ютерну програму для обчислення показників надійності. Нижченаведені умовні позначення, які прийняті при побудові систематизованого ряду, а весь ряд представлений у додатку А.

Технологічні схеми насосних станцій	Формули для визначення напрацювання на відмову T_{nc}
	Формули для визначення середнього часу відновлення $T_{B_{nc}}$
1-0	1 насос робочий, 0 резервних
№1 	$\omega_I = \omega_{зв} + \omega_n + \omega_k + \omega_{zn};$ $v_I = \omega_I; \quad \omega_{nc} = v_I; \quad T_{nc} = \frac{1}{\omega_{nc}}.$
	$T_{B_{I}} = \frac{\omega_{зв} T_{B_{зв}} + \omega_n T_{B_n} + \omega_k T_{B_k} + \omega_{zn} T_{B_{zn}}}{\omega_{зв} + \omega_n + \omega_k + \omega_{zn}};$ $T_{B_{nc}} = T_{B_{I}}.$

Позначення:

 – насосний агрегат робочий;

 – насосний агрегат резервний;

 – засувка;

 – зворотний клапан;

 – укрупнений елемент насосної станції
(1 – номер елемента);

- ω_i – параметр потоку відмов i -го елемента;
 v_i – вклад i -го елемента в потік відмов насосної станції;
 K_{Pi} – коефіцієнт простою i -го елемента;
 T_{B_i} – середній час відновлення працездатності i -го елемента;
 н – насос; к – зворотний клапан;
 зн – засувка на напірній лінії;
 зв – засувка на всмоктувальній лінії;
 звк – засувка на всмоктувальному колекторі;
 знк – засувка на напірному колекторі.

2.6 Математична модель надійності свердловини

Свердловина – це трубчастий колодязь, який застосовують для забирання води з напірних і безнапірних водоносних горизонтів, які залягають, зазвичай, на

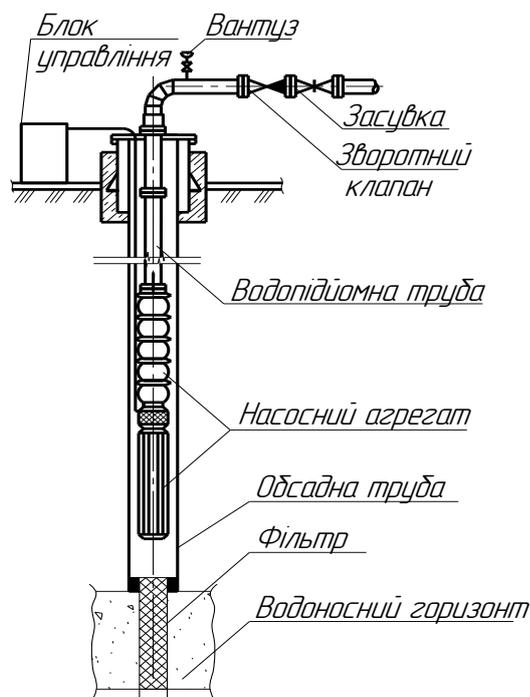


Рис. 2.2 – Схема обладнання свердловини

глибині більш як 15...20 м. Для безпосереднього забирання води у свердловину опускають електрозаглибний насос. Такі насоси мають різну конструкцію та відповідне обладнання, а один із варіантів обладнання свердловини насосом показано на рис. 2.2

Передбачається, що роль насосної станції 1-го підняття виконує електрозаглибний насос, а підземна вода може бути використана як питна. Тому вода із свердловини подається безпосередньо у розгалужену водопровідну мережу малого населеного пункту. Надійність свердловини обчислимо як споруди, що має послідовно поєднані елементи, коли відмова будь-якого з елементів призводить до відмови свердловини. Параметр потоку відмов артезіанської свердловини $\omega_{св}$ (рис.2.2) знаходимо як для послідовно з'єднаних, з точки зору надійності, елементів

$$\omega_{св} = \omega_{ф} + \omega_{о.т} + \omega_{н.а} + \omega_{б.у} + \omega_{з} + \omega_{к},$$

де $\omega_{ф}$, $\omega_{о.т}$, $\omega_{н.а}$, $\omega_{б.у}$, $\omega_{к}$, $\omega_{з}$, – параметр потоку відмов фільтра, обсадної труби, насосного агрегата, блока управління, засувки, зворотного клапана (прийняті згідно з даними Ю.О. Ільїна [16]).

2.7 Графічне представлення результатів розрахунку безвідмовності

Новохатній В.Г. запропонував [17] графічно представляти безперервність водопостачання диктувальних споживачів діаграмами часу у вигляді епюр. Для цього, на горизонтальній лінії в масштабі відкладаються довжини ділянок водопровідної мережі від джерела за напрямками до всіх диктувальних споживачів. На осі ординат відкладаються напрацювання на відмову у годинах. Побудовані епюри візуально представляють зміну та час напрацювання на відмову системи від джерела до диктувального споживача, що одночасно визначає зміну та час між перервами водопостачання від джерела до споживача води.

Алгоритм побудови епюр до кожного диктувального споживача наступний.

Крок 1. Початковою точкою є джерело. По горизонталі в масштабі відкладаються зліва направо довжини відповідних ділянок водогону та мережі за напрямком подавання води.

Крок 2. По вертикалі в початковій точці в масштабі відкладається напрацювання на відмову джерела (насосної станції 2-го підняття або свердловини).

Крок 3. Для визначення напрацювання на відмову у проміжних точках визначаємо відповідний параметр потоку відмов, як суму параметрів потоку відмов джерела та параметрів потоку відмов відповідних ділянок водогону та водопровідної мережі за напрямком подавання води. Напрацювання на відмову обчислюється як обернена величина до обчисленої суми параметрів потоку.

Крок 4. Перевірка розрахунків. Кінцеве значення напрацювання на відмову повинно збігатись з відповідним напрацюванням на відмову, яке обчислене табличним способом.

ЧАСТИНА 2

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА

3.1 Обчислення добової витрати води

Розрахунки виконано для доби максимального водоспоживання.

Вода у сельбищній зоні використовується на господарсько-питні потреби населення.

Витрата води на господарсько-питні потреби у сельбищній зоні за добу середнього водоспоживання

$$Q_{\text{доб}}^{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i^{\text{ср}} N_i}{1000} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i^{\text{ср}} F_i \sigma_i}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.1)$$

де $q_i^{\text{ср}}$ – середньодобова (за рік) норма господарсько – питного водоспоживання на 1 жителя в i -му районі, л/добу;

N_i – розрахункова кількість жителів у i -му районі;

F_i – площа i -го району, га;

σ_i – щільність населення в i -му районі, осіб/га.

Норма водоспоживання залежить від багатьох факторів, але встановлено, що домінуючими є два фактори: ступінь санітарно-технічного благоустрою житла і кліматична зона.

Село знаходиться у Черкаській області, яка належить до фізико-географічних районів Центральний та Східний Лісостеп. У селі будинки обладнані місцевими водонагрівачами. Згідно з ДБН 360-92* [18] прийнято норму водоспоживання $q^{\text{ср}} = 210$ л/добу на 1 жителя.

Розрахунки виконано в табличній формі (табл. 3.1).

Витрата води за добу максимального водоспоживання на господарсько-питні потреби

$$Q_{\text{доб}}^{\text{мак}} = Q_{\text{доб}}^{\text{ср}} K_{\text{доб}}^{\text{мак}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.2)$$

де $K_{\text{доб}}^{\text{мак}}$ – максимальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання.

Згідно з ДБН В.2.5-74:2013 [6] $K_{\text{доб}}^{\text{мак}} = 1,1 \dots 1,3$. Прийнято $K_{\text{доб}}^{\text{мак}} = 1,25$ з урахуванням необлічених витрат води. Тоді

$$Q_{\text{доб}}^{\text{мак}} = 202 \cdot 1,25 = 252,5 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

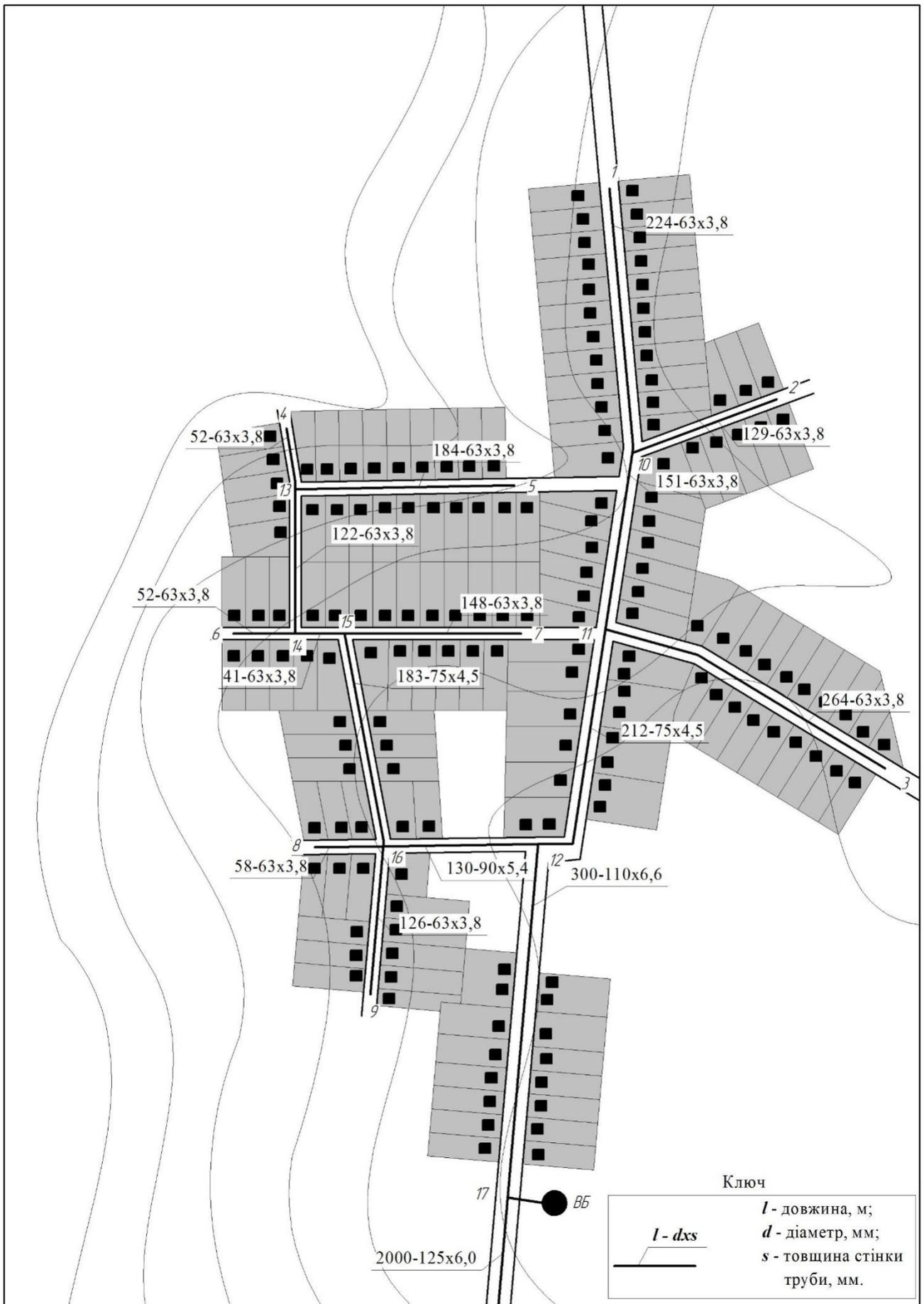


Рис. 3.1 План водопровідної мережі села

Середньодобове водоспоживання в сельбищній зоні

№№ районів	№№ кварталів	Площа забудови F , га	Щільність населення σ_i , осіб/га	Кількість жителів квартала N , осіб	Норма водоспоживання q^{zn} , л/добу	Середньодобова витрата води $Q_{\text{доб}}^{\text{mid}}$, м ³ /добу
1	1	1,5	50	75	210	15,8
	2	1,6	50	80	210	16,8
	3	2,6	50	130	210	27,3
	4	1,1	50	55	210	11,6
	5	0,9	50	45	210	9,5
	6	2,9	50	145	210	30,5
	7	1,3	50	65	210	13,7
	8	2,1	50	105	210	22,1
	9	2,0	50	100	210	21,0
	10	0,7	50	35	210	7,4
	11	0,7	50	35	210	7,4
	12	0,8	50	40	210	8,4
	13	1,0	50	50	210	10,5
	Разом	19,2		960		202,0

3.2 Визначення витрати води у годину максимального водоспоживання

$$Q_{\text{год}}^{\text{zn}} = K_{\text{год}}^{\text{zn}} Q_{\text{год}}^{\text{zn}} = K_{\text{год}}^{\text{zn}} \frac{Q_{\text{доб}}^{\text{max}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (3.3)$$

де $K_{\text{год}}^{\text{zn}}$ – максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання.

Згідно з [6]

$$K_{\text{год}}^{\text{zn}} = \alpha_{\text{max}} \beta_{\text{max}}, \quad (3.4)$$

де α_{max} – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків та інші місцеві умови;

β_{max} – коефіцієнт, що враховує кількість жителів у селі.

Згідно з [6] $\alpha_{max} = 1,2...1,4$. Приймаємо середнє значення $\alpha_{max} = 1,3$. Коефіцієнт β_{max} прийнято згідно з [6], який дорівнює 2,032. Тоді

$$K_{год\ max} = 1,3 \cdot 2,032 = 2,64.$$

Отже

$$Q_{год\ max}^{zn} = 2,64 \frac{253}{24} = 27,8 \text{ м}^3/\text{год} = 7,7 \text{ л/с}.$$

3.3 Вибір схеми системи водопостачання

Поверхнева вода очищається на водопровідних очищувальних спорудах і надходить в резервуари чистої води (РЧВ). З РЧВ вода питної якості забирається насосами насосної станції 2-го підняття (НС-2) і подається водофоном у водопровідну мережу розгалуженого типу. Пожежогасіння здійснюється з пожежних резервуарів та протипожежних відкритих водойм.

3.4 Визначення діаметрів труб ділянок водопровідної мережі

Після трасування магістральної водопровідної мережі визначались (рис. 3.1) вузли мережі та ділянки між цими вузлами. Для уточнення витрат води на ділянках обчислені приведені довжини ділянок за наступним правилом:

$$L_{np} = \begin{cases} L & \text{— при двосторонній забудові вздовж ділянки;} \\ L/2 & \text{— при односторонній забудові;} \\ 0 & \text{— при відсутності забудови,} \end{cases}$$

де L — фактична довжина ділянки, яка виміряна на плані села, м.

Питомі витрати води визначено за формулою

$$q_n = \frac{Q_{год\ max}}{\sum L_{np}}, \text{ л/с на 1м,} \quad (3.5)$$

де $\sum L_{np}$ — сума приведених довжин ділянок мережі, м (табл. 3.2).

$$q_n = \frac{7,7}{2376} = 0,00324, \text{ л/с на 1м.}$$

Шляхові витрати визначено за формулою

$$Q_{ш} = q_n \cdot L_{np}, \text{ л/с.} \quad (3.6)$$

Приведені довжини ділянок та шляхові витрати занесено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Приведені довжини ділянок мережі та шляхові витрати

№№ ділянок	1-10	2-10	10-11	3-11	11-12	4-13	5-13	13-14	6-14
Приведена довжина, м	224	129	151	264	212	52	184	122	52
$Q_{ш}$, л/с	0,7	0,4	0,5	0,9	0,7	0,2	0,6	0,4	0,2

№№ ділянок	14-15	7-15	15-16	8-16	9-16	16-12	12-17	Усього
Приведена довжина, м	41	148	183	58	126	130	300	2376
$Q_{ш}$, л/с	0,1	0,5	0,6	0,2	0,4	0,4	0,9	7,7

Вузлові витрати води (табл. 3.3) визначено за формулою

$$Q_v = 0,5 \sum Q_{ш}, \text{ л/с.} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.3

Вузлові витрати води

№вузла	№№ ділянок, що прилягають до вузла	Вузлові витрати, л/с,	
		$\sum Q_{ш}$	Q_v
1	1-10	0,7	0,35
2	2-10	0,4	0,2
3	3-11	0,9	0,45
4	4-13	0,2	0,1
5	5-13	0,6	0,3
6	6-14	0,2	0,1
7	7-15	0,5	0,25
8	8-16	0,2	0,1
9	9-16	0,4	0,2
10	1-10, 2-10, 10-11	1,6	0,8
11	10-11, 3-11, 11-12	2,1	1,05
12	11-12, 12-16, 12-17	2,0	1,0
13	4-13, 5-13, 13-14	1,2	0,6
14	6-14, 13-14, 14-15	0,7	0,35
15	7-15, 14-15, 15-16	1,2	0,6
16	8-16, 9-16, 12-16, 15-16	1,6	0,8
17	12-17	0,9	0,45
	Разом		7,7

Розташовуємо водонапірну башту на найвищій позначці на водопровідній мережі в межах села (рис. 3.1), виконуємо поточкорозподіл (рис. 3.2) і призначаємо діаметри труб ділянок мережі (рис. 3.3) за таблицями Ф.О. Шевельва [19]. Приймаємо поліетиленові труби; мінімальний діаметр труб вуличної мережі прийнято 63x3,8 мм.

3.5 Розрахунок надійності подавання води диктувальним споживачам

3.5.1 Розрахунок безвідмовності ділянок водогону і мережі

Розрахунок надійності системи водопостачання здійснюється за напрямками від вододжерела до диктувальних споживачів, а саме тих споживачів, які знаходяться в кінцевих вузлах мережі. Розрахунок виконуємо за наступними формулами.

Параметр потоку відмов ділянки водогону або водопровідної мережі

$$\omega_{\partial} = \omega_0 \cdot L, \quad (3.8)$$

де ω_0 – питомий параметр потоку відмов поліетиленових труб (прийнято [20] $\omega_0 = 0,0005$ 1/год·км);

L – довжина ділянки водопровідної мережі, км.

Параметр потоку відмов ділянок водопровідної мережі обчислено в табличній формі (табл. 3.5, колонка 7) та наведені на рис. 3.4.

3.5.2 Розрахунок надійності насосної станції 2-го підняття

Розрахунок виконуємо методом “вкладів” [7, 11, 12]; дані для розрахунків наведені в таблиці 3.4.

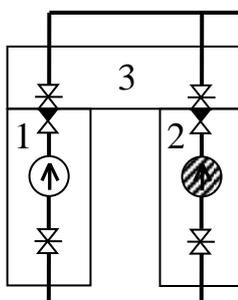


Рис. 3.5 Технологічна схема насосної станції 2-го підняття

Таблиця 3.4

Дані для розрахунку надійності насосної станції [11]

№ з/п	Елементи	Умовне позначення	Параметр потоку відмов ω , 1/год·10 ⁻⁴	Середній час відновлення T_B , год.
1	Насосні агрегати	н	1,25	60,0
2	Зворотні клапани	к	0,08	10,0
3	Засувки:			
	- на всмоктувальних лініях	зв	0,1	20,0
	- на напірних лініях	зн	0,6	10,0
	- на всмоктувальних колекторах	звк	0,1	20,0
	- на напірних колекторах	знк	0,1	20,0

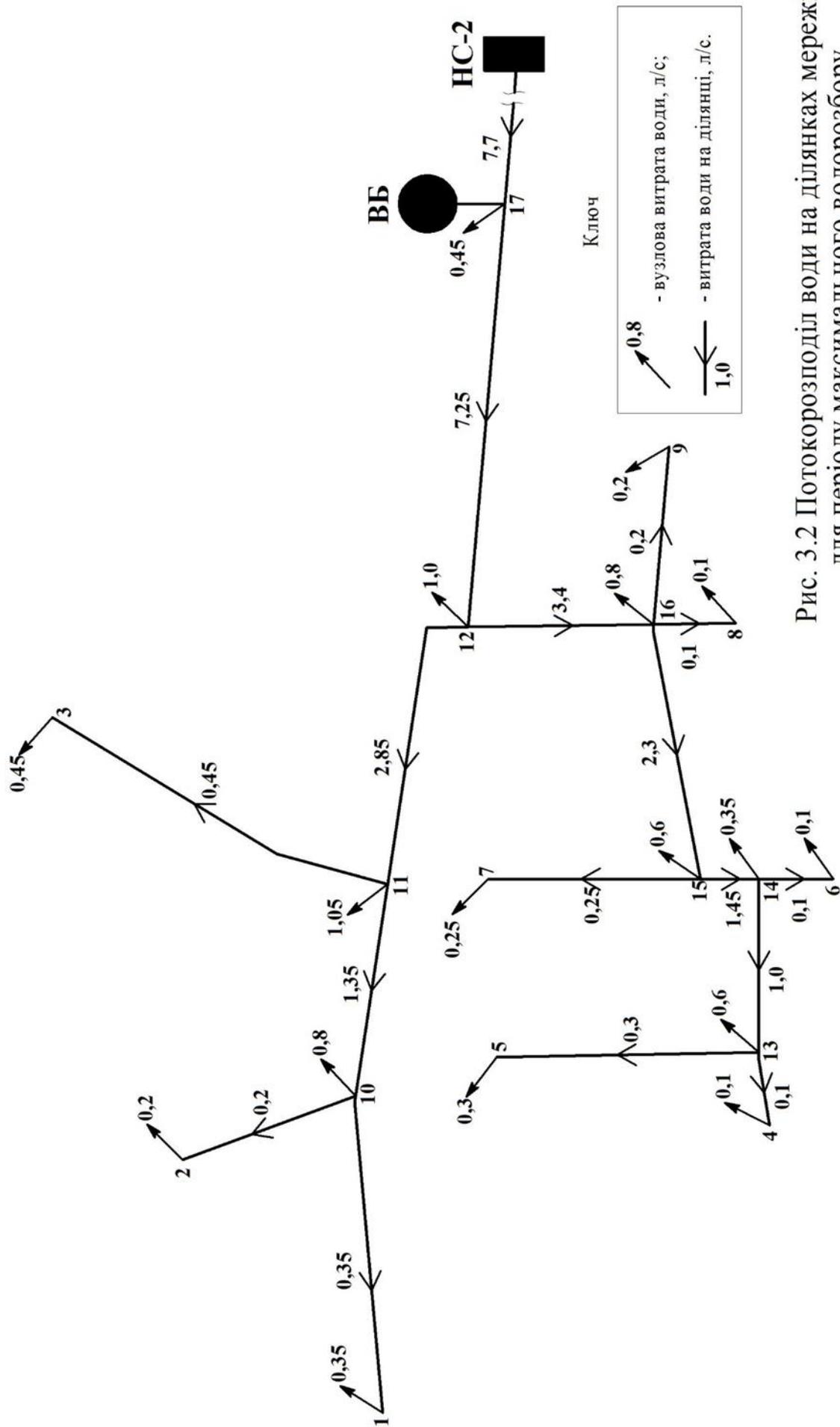


Рис. 3.2 Потокорозподіл води на ділянках мережі для періоду максимального водорозбору

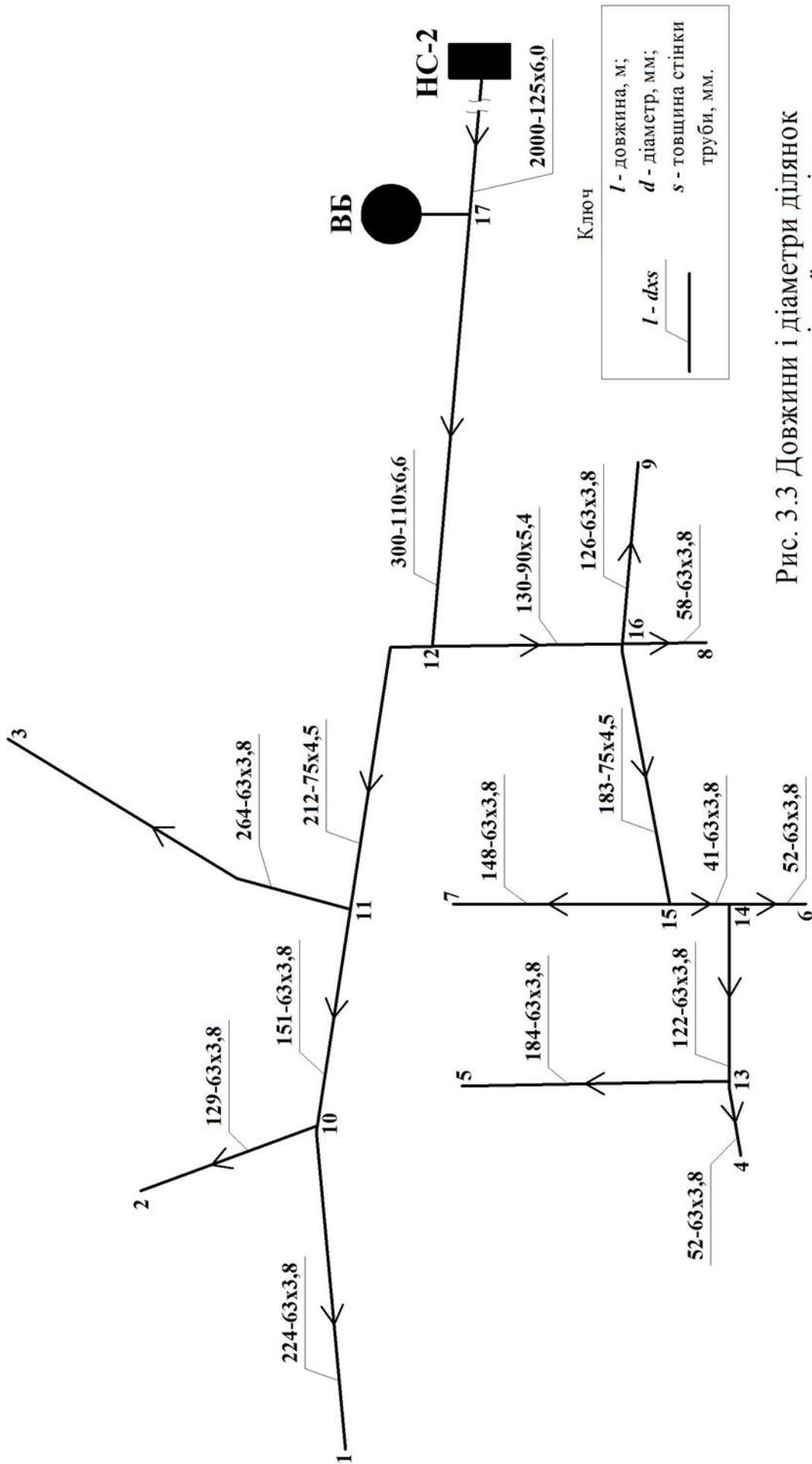


Рис. 3.3 Довжини і діаметри ділянок водопровідної мережі села

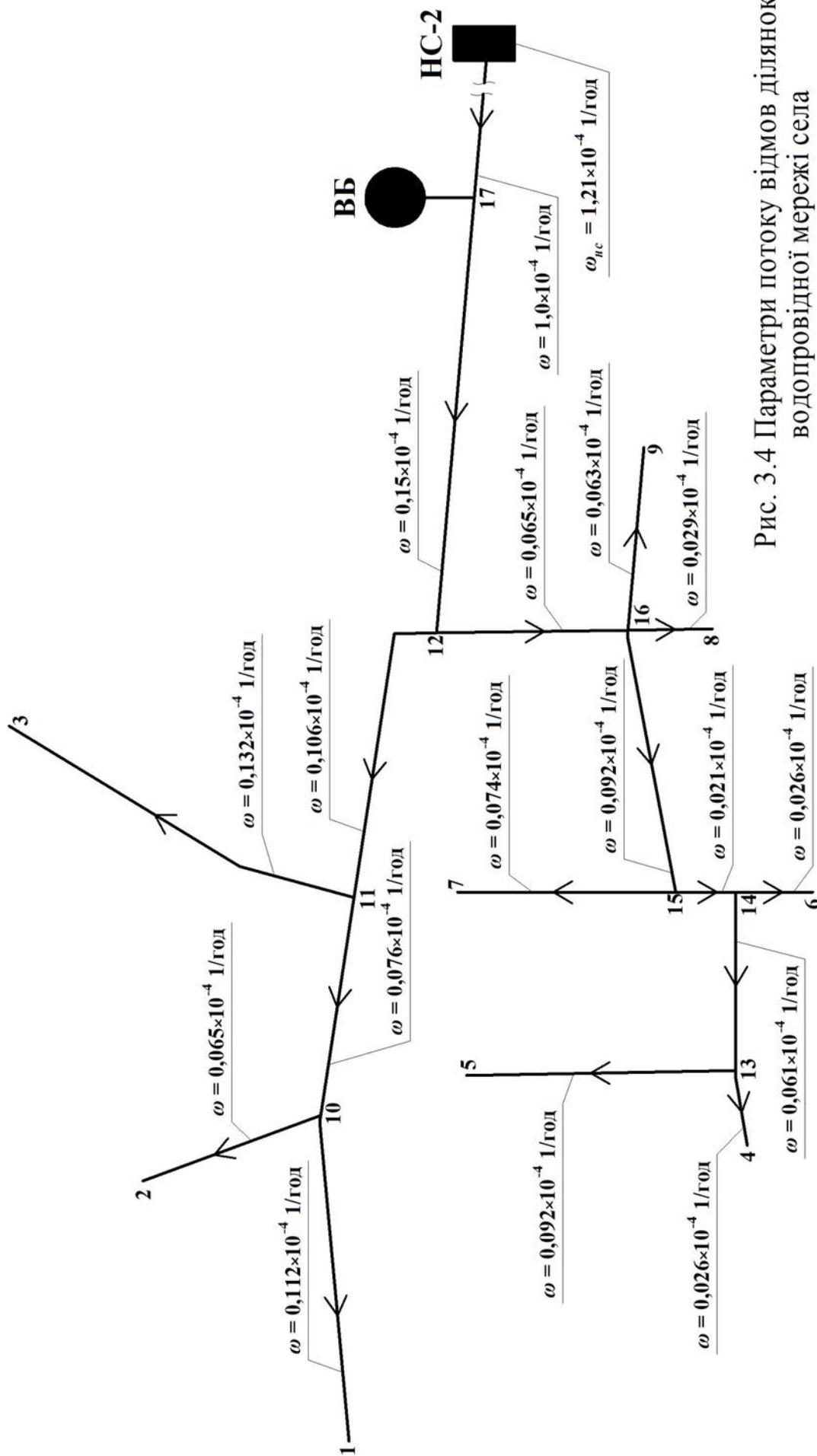


Рис. 3.4 Параметри потоку відмов ділянок водопровідної мережі села

Параметр потоку відмов укрупнених елементів

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{36} + \omega_n + \omega_k = (0,1 + 1,25 + 0,08) \cdot 10^{-4} = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год};$$

$$\omega_3 = 2\omega_{3n} = 2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

Середній час відновлення працездатності укрупнених елементів

$$T_{B_1} = T_{B_2} = \frac{\omega_{36} T_{B_{36}} + \omega_n T_{B_n} + \omega_k T_{B_k}}{\omega_1} = \frac{(0,1 \cdot 20 + 1,25 \cdot 60 + 0,08 \cdot 10) \cdot 10^{-4}}{1,43 \cdot 10^{-4}} = 54,4 \text{ год};$$

$$T_{B_3} = T_{B_{3n}} = 10 \text{ год}.$$

Коефіцієнти простою укрупнених елементів

$$K_{П_2} = \omega_2 T_{B_2} = 1,43 \cdot 10^{-4} \cdot 54,4 = 77,8 \cdot 10^{-4}.$$

Вклади укрупнених елементів

$$v_1 = \omega_1 K_{П_2} = 1,43 \cdot 10^{-4} \cdot 77,8 \cdot 10^{-4} = 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год};$$

$$v_3 = \omega_3 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

Параметр потоку відмов насосної станції

$$\omega = v_1 + v_3 = (0,0111 + 1,2) \cdot 10^{-4} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

Напрацювання на відмову насосної станції

$$T = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{1,21 \cdot 10^{-4}} = 8257 \text{ год}.$$

Середній час відновлення працездатності

$$T_B = \frac{v_1 T_{B_1} + v_3 T_{B_3}}{\omega} = \frac{(0,0111 \cdot 54,4 + 1,2 \cdot 10) \cdot 10^{-4}}{1,21 \cdot 10^{-4}} = 10,4 \text{ год}.$$

Коефіцієнт готовності насосної станції

$$K_G = \frac{T}{T + T_B} = \frac{8257}{8257 + 10,4} = 0,997586.$$

Коефіцієнт простою насосної станції

$$K_{П} = 1 - K_G = 1 - 0,997586 = 0,002414.$$

3.5.3 Розрахунок надійності подавання води на напрямками подавання води

Параметр потоку відмов системи водопостачання за вибраним напрямком

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_{d_i} + \omega_{nc}, \quad (3.9)$$

де ω_{nc} – параметр потоку відмов насосної станції 2-го підняття, 1/год;

n – кількість ділянок мережі за вибраним напрямком.

Параметр потоку відмов насосної станції 2-го підняття обчислюємо методом “вкладів”.

Напрацювання на відмову системи водопостачання за вибраним напрямком

$$T = \frac{1}{\omega_c}, \quad (3.10)$$

Середній час відновлення системи

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{\partial} T_{B_{\partial}} + \omega_{nc} T_{B_{nc}}}{\omega_c}, \quad (3.11)$$

$T_{B_{nc}}$ – середній час відновлення насосної станції, год;

$T_{B_{\partial}}$ – середній час відновлення ділянки, год; приймаємо $T_{B_{\partial}} = 8$ год.

Коефіцієнт готовності системи водопостачання за вибраним напрямком

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_B} \quad (3.12)$$

Коефіцієнт простою системи водопостачання за вибраним напрямком

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} \quad (3.13)$$

Розрахунок виконуємо у табличній формі (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Надійність подавання води диктувальним споживачам

Характеристика вибраних напрямків						Надійність за напрямком					
№	Напрямок	Ділянки	D ділянок	L, м	ω_{∂} , 1/(год км)	ω_{∂}	ω_{nc} , 1/год	ω_c , 1/год	T, год	T_B , год	K_{Π}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-18	1-10	63	224	0,00005	0,0000112	0,000121	0,000265	3767,0	9,1	0,002414
		10-11	63	151		0,0000076					
		11-12	75	212		0,0000106					
		12-17	110	300		0,0000150					
		17-18	125	2000		0,0001000					
						$\Sigma=0,0001444$					
2	2-18	2-10	63	129	0,00005	0,0000065	0,000121	0,000261	3835,6	9,1	0,002376
		10-11	63	151		0,0000076					
		11-12	75	212		0,0000106					
		12-17	110	300		0,0000150					
		17-18	125	2000		0,0001000					
						$\Sigma=0,0001396$					
3	3-18	3-11	63	264	0,00005	0,0000132	0,000121	0,000260	3847,5	9,1	0,00237
		11-12	75	212		0,0000106					
		12-17	110	300		0,0000150					
		17-18	125	2000		0,0001000					
						$\Sigma=0,0001388$					
4	4-18	4-13	63	52	0,00005	0,0000026	0,000121	0,000263	3809,3	9,1	0,002391
		13-14	63	122		0,0000061					
		14-15	63	41		0,0000021					

		15-16	75	183		0,0000092						
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001414						
5	5-18	5-13	63	184	0,00005	0,0000092	0,000121	0,000269	3715,9	9,1	0,002444	
		13-14	63	122		0,0000061						
		14-15	63	41		0,0000021						
		15-16	75	183		0,0000092						
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001480						
6	6-18	6-14	63	52	0,00005	0,0000026	0,000121	0,000256	3900,0	9,1	0,002342	
		14-15	63	41		0,0000021						
		15-16	75	183		0,0000092						
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001353						
7	7-18	7-15	63	148	0,00005	0,0000074	0,000121	0,000259	3858,6	9,1	0,002364	
		15-16	75	183		0,0000092						
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001381						
8	8-18	8-16	63	58	0,00005	0,0000029	0,000121	0,000246	4073,1	9,2	0,002255	
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001244						
9	9-18	9-16	63	126	0,00005	0,0000063	0,000121	0,000249	4017,5	9,2	0,002282	
		16-12	90	130		0,0000065						
		12-17	110	300		0,0000150						
		17-18	125	2000		0,0001000						
						Σ=0,0001278						

3.6 Розрахунок надійності насосної станції 2-го підняття на ПЕОМ

Костенко С.О. удосконалив [21] систематизований ряд насосних станцій, який був розроблений раніше [14], а також розробив комп'ютерну програму [22] для розрахунку надійності 69 схем насосних станцій.

Для обчислення надійності насосної станції на ПЕОМ потрібно ввести необхідні дані (табл. 3.4) в блокнот INPUT (рис. 3.6). Потім запускається програма для розрахунку надійності, в яку вводиться лише номер схеми насосної станції

(рис. 3.7) із систематизованого ряду насосних станцій (додаток А). Після введення номера схеми насосної станції програма виконає розрахунки та запише результати у блокнот RESULT (рис. 3.8).

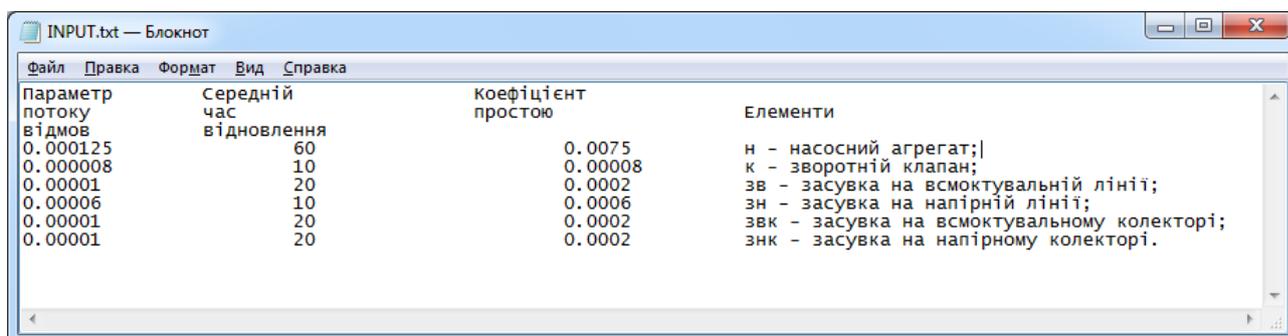


Рис. 3.6 Блокнот з вихідними даними

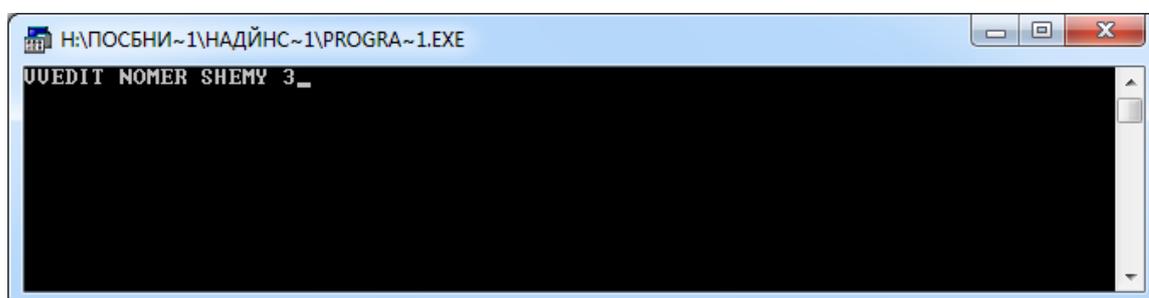


Рис. 3.7 Робоче вікно програми обчислення надійності насосної станції

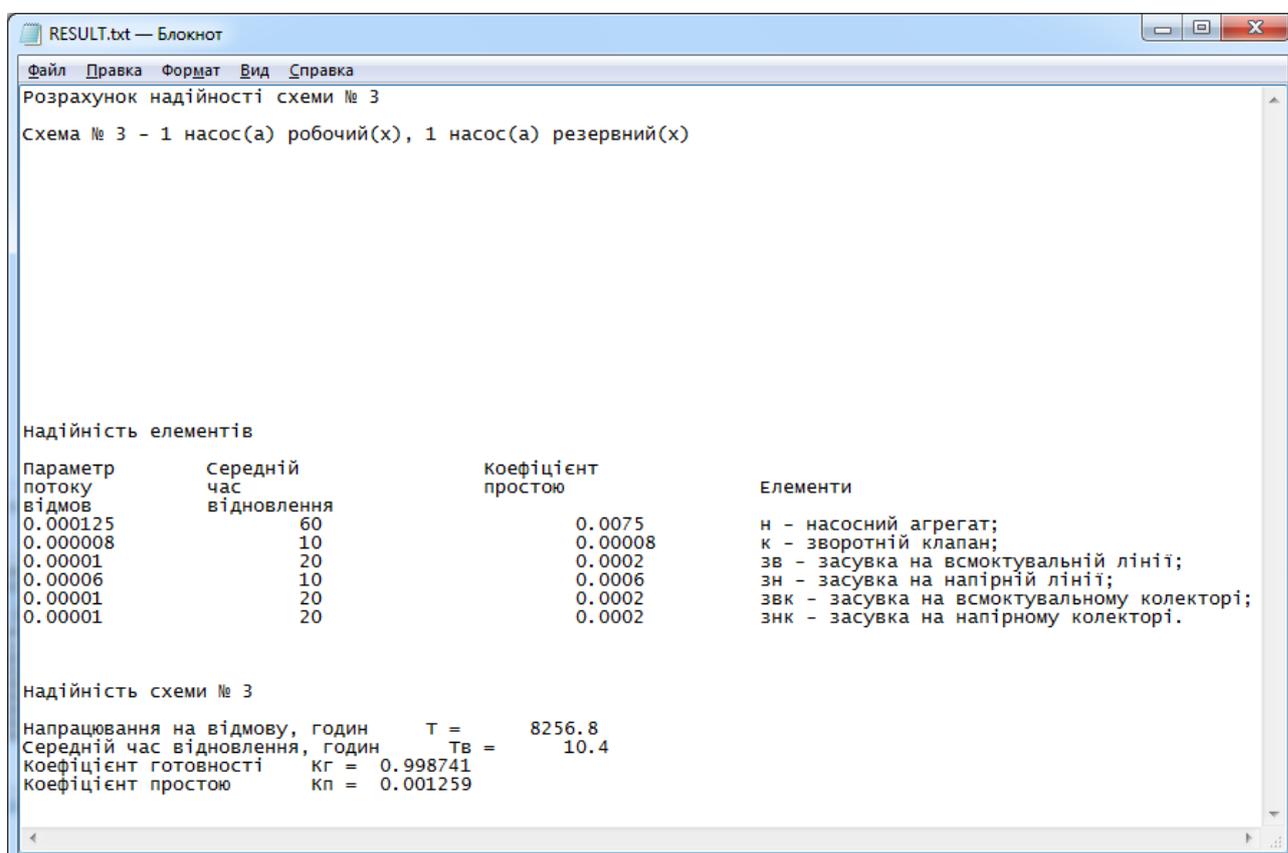


Рис. 3.8 Блокнот з результатами обчислення надійності насосної станції

3.7 Графічне представлення результатів безперервності водопостачання диктувальних споживачів

Алгоритм побудови епюр до кожного диктувального споживача наступний.

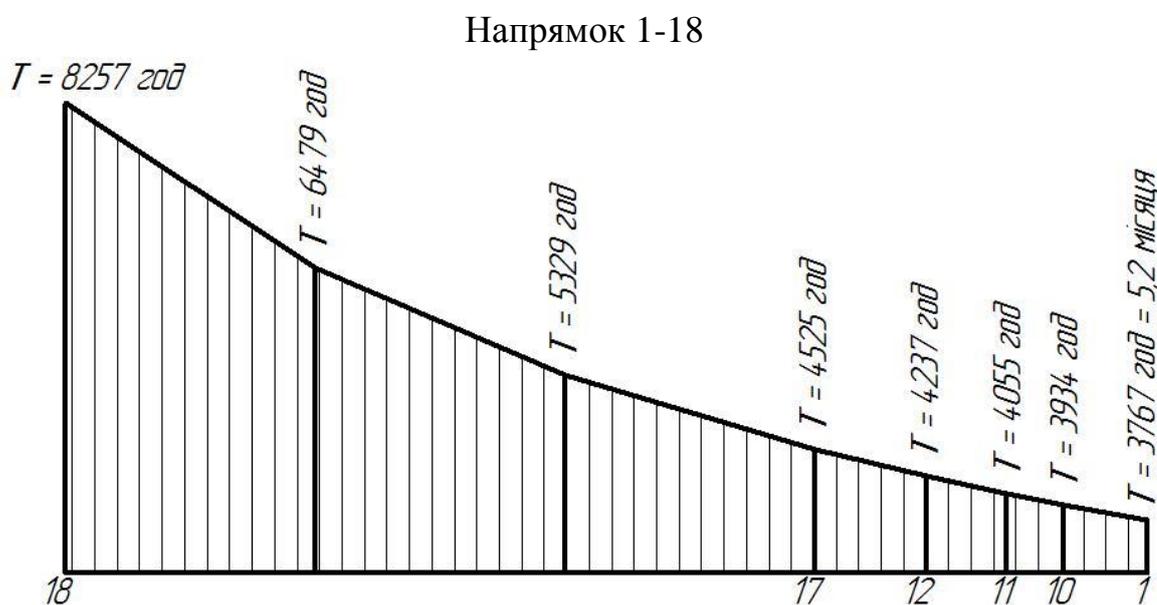
Крок 1. Початковою точкою є насосна станція 2-го підняття. По горизонталі в масштабі (1:10000) відкладаємо зліва направо довжини відповідних ділянок водогону та мережі за напрямком подавання води.

Крок 2. По вертикалі в масштабі (1 см – 4000 год) відкладаємо напрацювання на відмову насосної станції 2-го підняття.

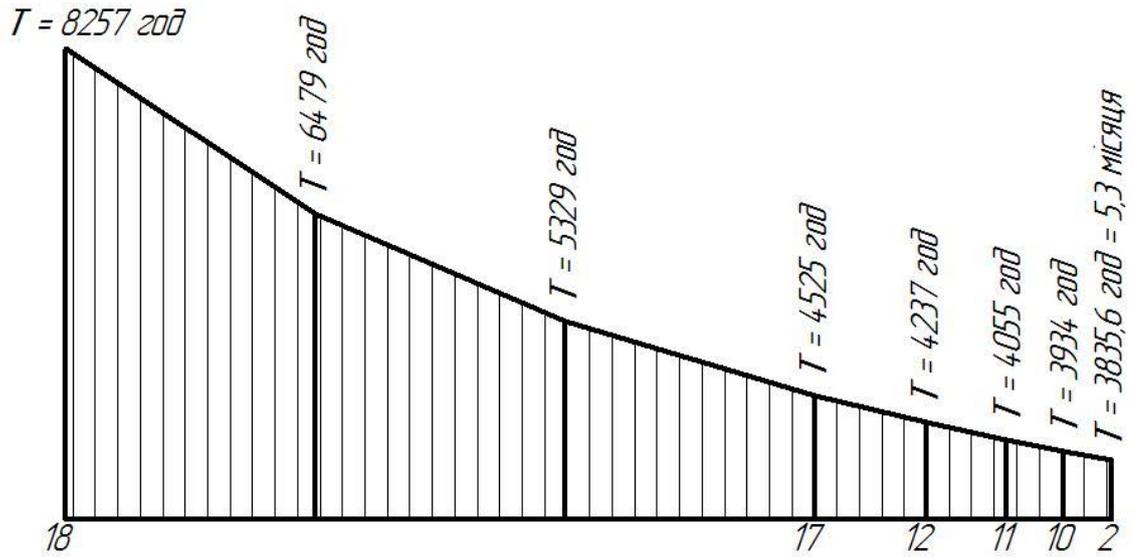
Крок 3. Для визначення напрацювання на відмову у проміжних точках визначаємо відповідний параметр потоку відмов, як суму параметрів потоку відмов насосної станції та параметрів потоку відмов відповідних ділянок водогону та водопровідної мережі за напрямком подавання води. Напрацювання на відмову обчислюється як обернена величина до обчисленої суми параметрів потоку.

Крок 4. Кінцеве значення напрацювання на відмову повинно збігатись з відповідним напрацюванням на відмову з табл. 3.5.

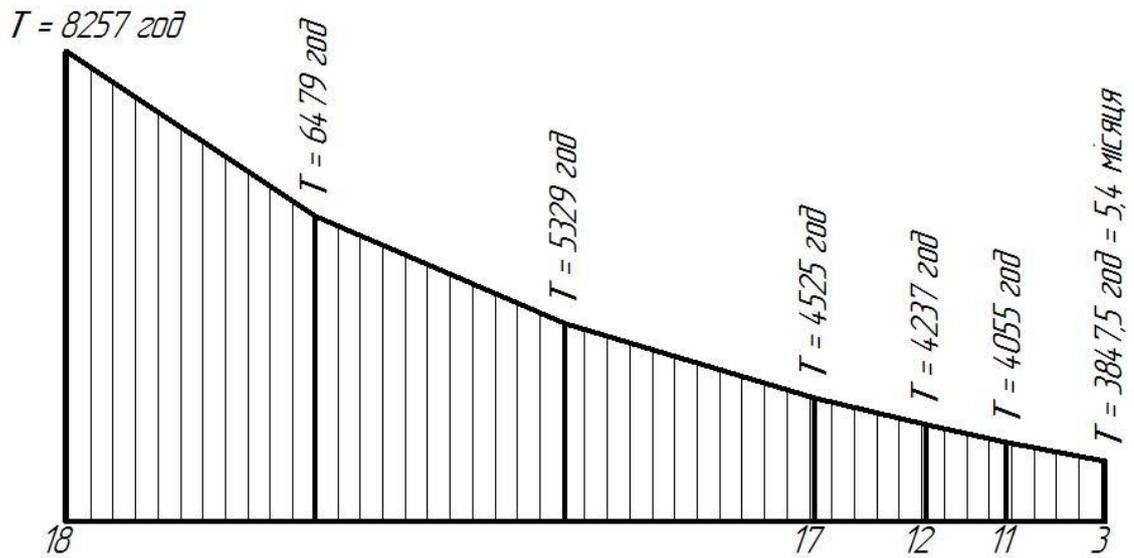
Результати побудови представлені на рисунку 3.9.



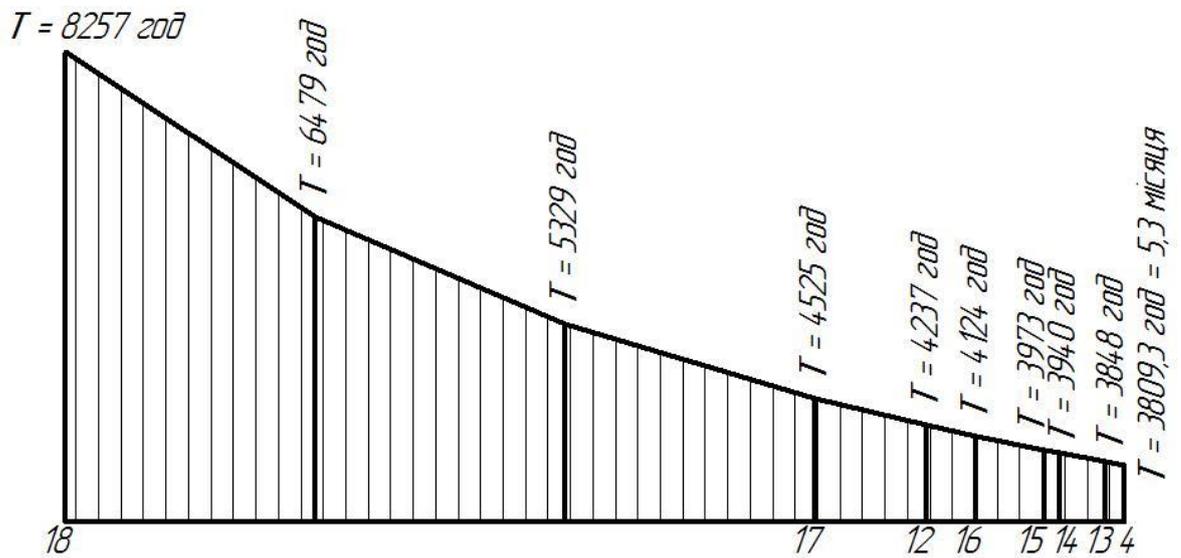
Напрямок 2-18



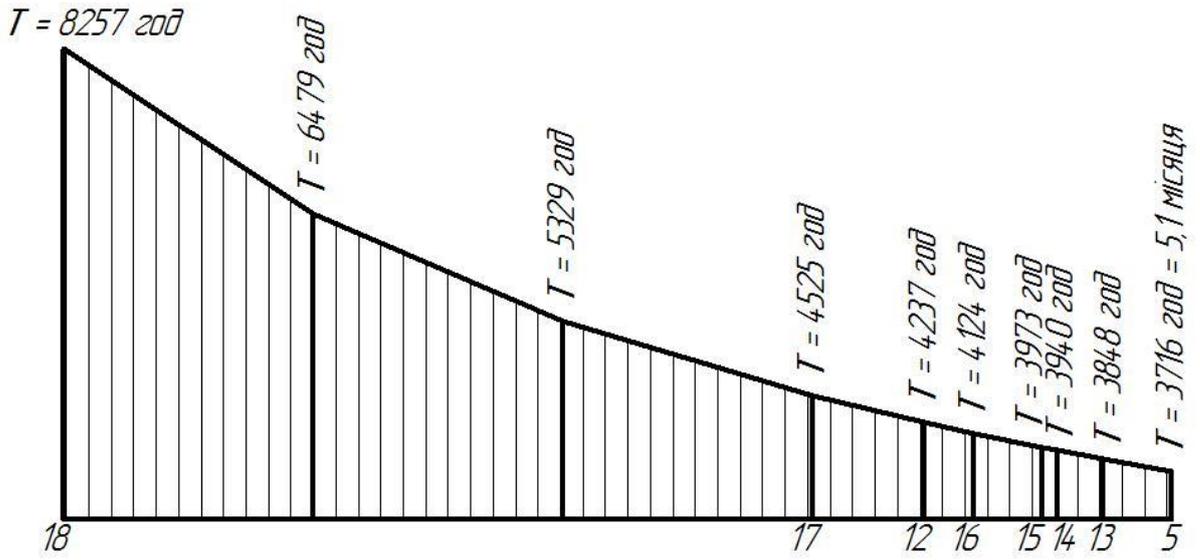
Напрямок 3-18



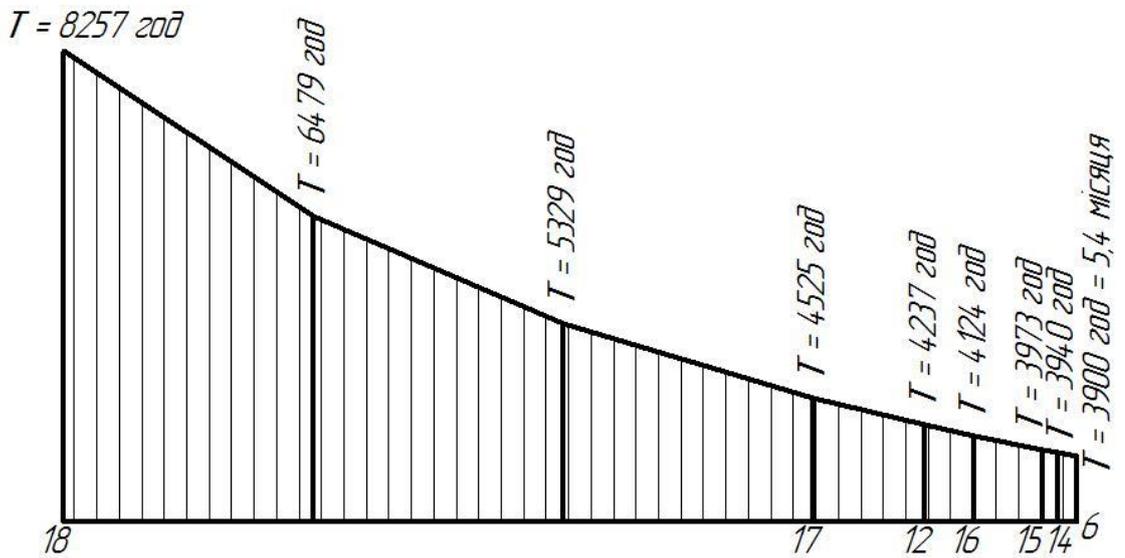
Напрямок 4-18



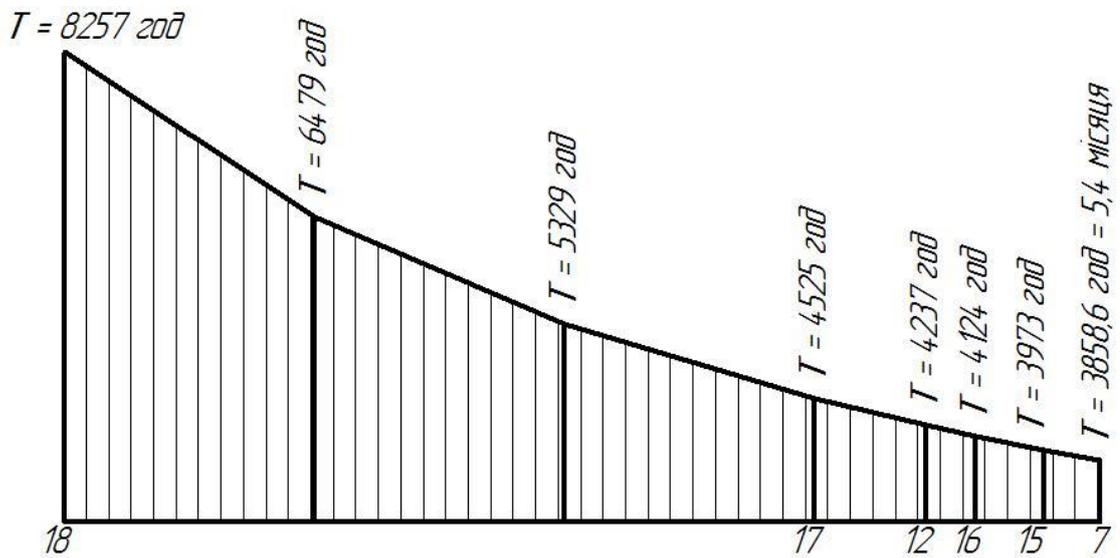
Напрямок 5-18



Напрямок 6-18



Напрямок 7-18



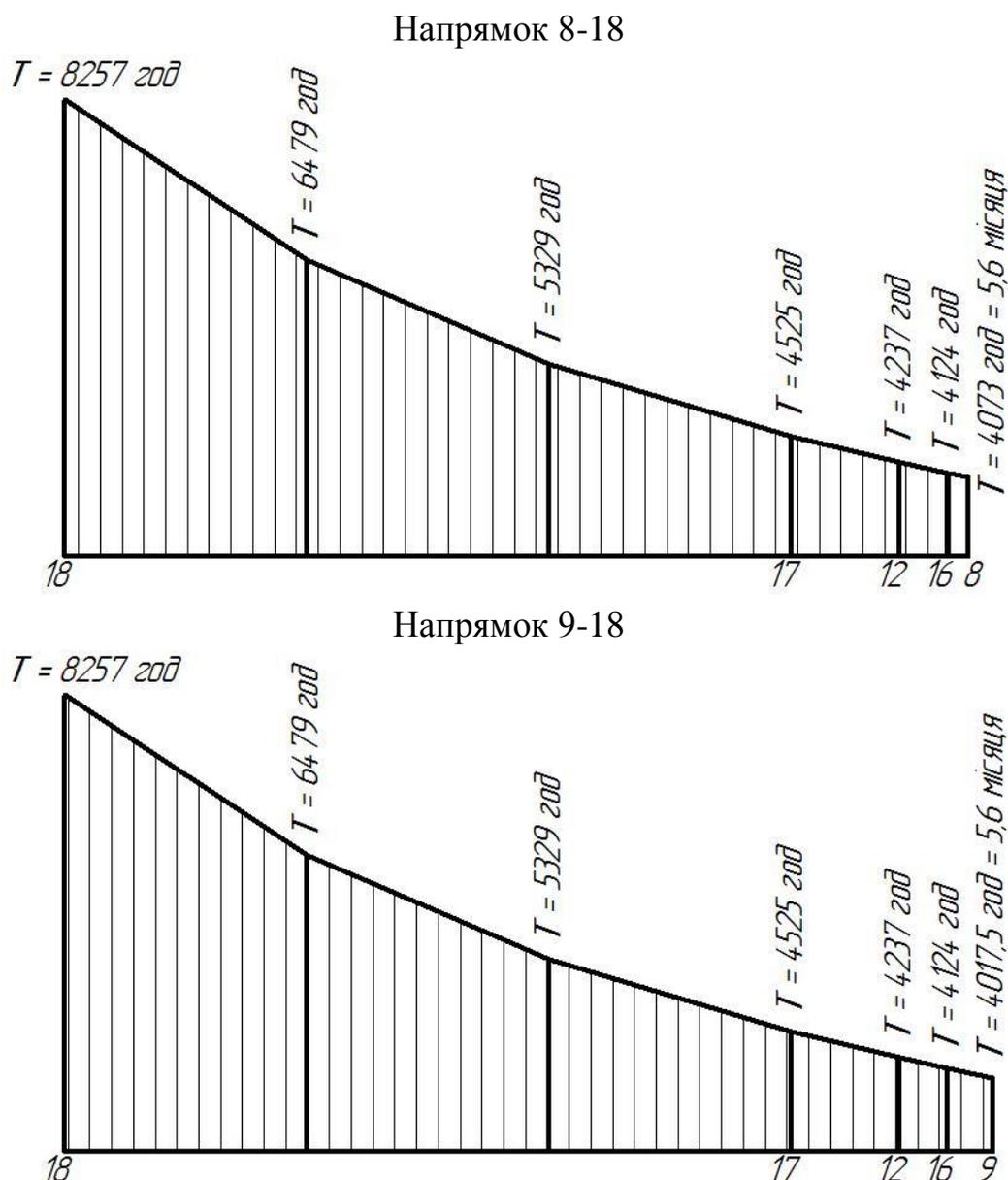


Рис. 3.9 Епюри напруцювання на відмову за напрямками подавання води до диктувальних споживачів

ВИСНОВКИ

1. Найбільша частота перерв водопостачання у диктувального споживача №5 $T = 3715$ год = 5,1 місяця. Тобто, перерви водопостачання будуть у середньому 1 раз на 5 місяців, але це значно рідше за нормативну вимогу – 1 раз на 0,5 місяця, а це означає, що вимога з безперервності водопостачання виконується.

2. Середній час відновлення водопостачання становить $T_B = 9,2$ год, що значно менше за допустиме значення $T_B = 24$ год.

3. У цілому, надійність подавально-розподільного комплексу системи водопостачання сільського населеного пункту достатня.

РОЗДІЛ 4
РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ
З ПІДЗЕМНОГО ДЖЕРЕЛА

4.1 Визначення обсягу водоспоживання

Розрахунок виконано для доби максимального водоспоживання.

Вода у сельбищній зоні використовується на господарсько-питні потреби населення. Витрата води на господарсько-питні потреби у сельбищній зоні за добу середнього водоспоживання дорівнює

$$Q_{\text{доб}}^{\text{zn}} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i^{\text{zn}} N_i}{1000} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i^{\text{zn}} F_i \sigma_i}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.1)$$

де q_i^{zn} – середньодобова (за рік) норма господарсько-питного водоспоживання на 1-ого жителя в i -му районі, л/добу;

N_i – розрахункова кількість жителів у i -му районі;

F_i – площа i -го району, га;

σ_i – щільність населення в i -му районі, осіб/га.

Домінуючими факторами, від яких залежить норма водоспоживання, є ступінь санітарно-технічного благоустрою житла і кліматична зона.

Сільський населений пункт розташований в Полтавській області (рис. 4.1), яка відноситься до фізико-географічного району Центральний та Східний Лісостеп. Ступінь сантехнічного благоустрою будинків та норми водоспоживання прийняті відповідно до ДБН 360-92* [18]. Розрахунки середньодобової витрати зведені в таблицю 4.1.

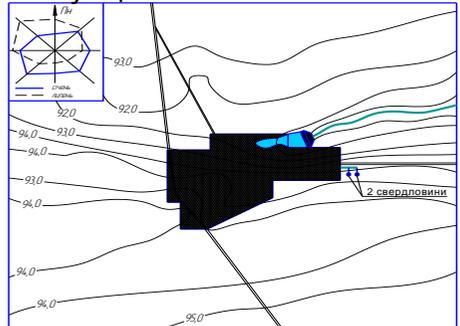
Витрата води за добу максимального водоспоживання на господарсько-питні потреби

$$Q_{\text{доб}}^{\text{zn}} = Q_{\text{доб}}^{\text{zn}} K_{\text{доб}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.2)$$

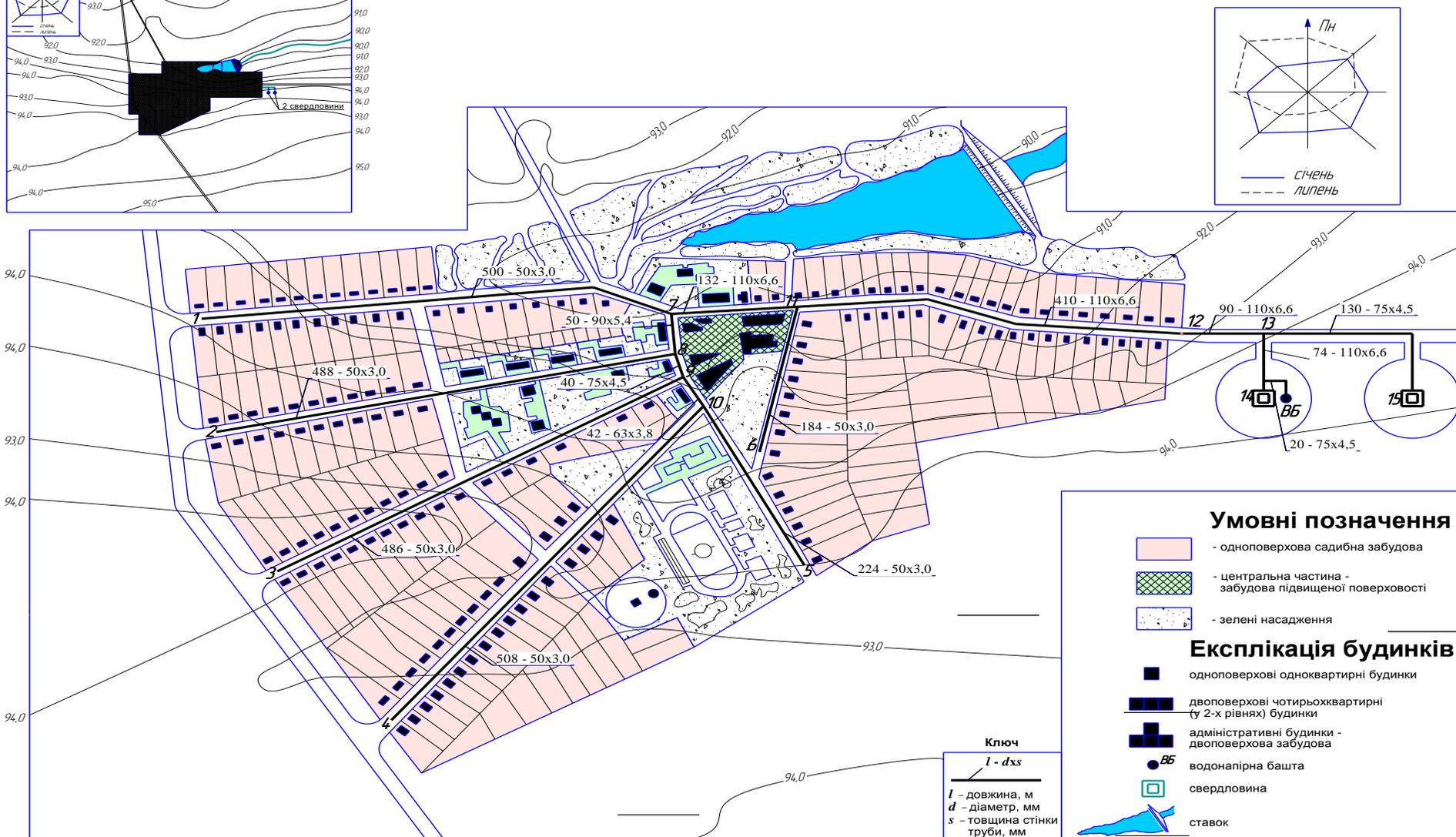
де $K_{\text{доб}}$ – максимальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання.

ня.

Ситуаційний план М 1:20000



М 1:2000



Умовні позначення

- одноповерхова садибна забудова
- центральна частина - забудова підвищеної поверховості
- зелені насадження

Експлікація будинків

- одноповерхові одноквартирні будинки
- двоповерхові чотирьохквартирні (у 2-х рівнях) будинки
- адміністративні будинки - двоповерхова забудова
- водонапірна башта
- свердловина
- ставок

Ключ

$l - dxs$
 l - довжина, м
 d - діаметр, мм
 s - товщина стінки труби, мм

Рис. 4.1 План водопровідної мережі села

Середньодобове водоспоживання в сільбищній зоні

№ з/п	Характеристика забудови	Площа F_i , га	Щільність населення σ_i , осіб/га	Кількість жителів N_i , осіб	Норма водоспоживання q_i^{zn} , л/добу	Середньодобова витрата води $Q_{доб}^{zn}$, м ³ /добу
1	Одноповерхова садибна забудова; будинки обладнані внутрішнім водопроводом і каналізацією без ванн з газовими водонагрівачами.	25,62	35	897	150	134,5
2	Двоповерхова забудова; будинки обладнані внутрішнім водопроводом і каналізацією з газовими водонагрівачами.	2,72	120	326	210	68,5
	Разом	28,34		1223		203,0

Згідно з будівельними нормами ДБН В.2.5-74:2013 [6] $K_{доб}^{max} = 1,1 \dots 1,3$.

Прийнято $K_{доб}^{max} = 1,25$ з урахуванням необлічених витрат води. Тоді

$$Q_{доб}^{zn, max} = 203 \cdot 1,25 = 253,8 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Поливання зелених насаджень та присадибних ділянок передбачається ґрунтовими водами із шахтних колодязів та неглибоких свердловин.

Пожежогасіння в сільському населеному пункті виконується з поверхневої водойми (ставка) та спеціальних протипожежних водойм.

4.2 Визначення витрати води у годину максимального водоспоживання

Витрата води за годину максимального водоспоживання

$$Q_{год}^{zn, max} = K_{год}^{zn, max} Q_{год}^{zn, mid} = K_{год}^{zn, max} \frac{Q_{доб}^{zn, max}}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.3)$$

де $K_{год}^{zn, max}$ – максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання.

Згідно з [6]

$$K_{\text{год}}^{\text{max}} = \alpha_{\text{max}} \beta_{\text{max}}, \quad (4.4)$$

де α_{max} – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків та інші місцеві умови;

β_{max} – коефіцієнт, що враховує кількість жителів у сільському населеному пункті.

Згідно з [6] $\alpha_{\text{max}} = 1,2 \dots 1,4$. Приймаємо середнє значення $\alpha_{\text{max}} = 1,3$.

Коефіцієнт β_{max} прийнято згідно з [6], який дорівнює 2,0. Тоді

$$K_{\text{год}}^{\text{max}} = 1,3 \cdot 2,0 = 2,6.$$

Витрата води за годину максимального водоспоживання

$$Q_{\text{год}}^{\text{max}} = 2,6 \cdot \frac{253,8}{24} = 27,5 \text{ м}^3 / \text{год} = 7,6 \text{ л/с}$$

4.3 Вибір джерела водопостачання

Сільський населений пункт знаходиться в Полтавській області яка, в геологічному відношенні, розташована на Дніпровсько-Донецькій Западині. Для сільських населених пунктів джерелом централізованого водопостачання потрібно, в першу чергу, розглядати підземні, а саме – артезіанські води, які захищені водотривом від зовнішньої поверхні. Для артезіанських вод характерна мала кількість зависі, відсутність органічних та бактеріальних забруднень, але вони мають різний рівень мінералізації, що залежить від хімічного складу порід, якими фільтрується підземна вода.

Артезіанські води на території Полтавської області належать до Дніпровського артезіанського басейну. На заході межа басейну пролягає по виходам кристалічних порід. На півдні та південному сході басейн межує з Донецько-Донським та Донецьким субартезіанським басейном, а на півночі та сході він виходить за межі України.

Дніпровський артезіанський басейн складається з системи водоносних горизонтів, загальна потужність яких сягає декількох кілометрів. Верхні горизонти містять в основному прісні води, нижні – мінералізовані води і розсоли. Під територією Полтавської області знаходиться три основних водоносних горизонти прісних вод: харківський, бучацько-канівський і сеноман-нижньокрейдяний.

Харківський водоносний горизонт складений пісками, що лежать на глибині 50...80 м від поверхні землі. Горизонт малопотужний і розповсюджений не скрізь. Живлення горизонту відбувається шляхом інфільтрації атмосферних опадів в межах північно-західних границь басейну. Дебіти свердловин складають в основному 1...2 л/с. Води по своєму складу є гідрокарбонатно-кальцієвими з мінералізацією до 1000 мг/л.

Бучацький водоносний горизонт складено глауконітовими пісками і лежить на глибині 100...160 м від поверхні землі. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів в межах північно-західних границь ба-

сейну. Горизонт широко використовується для централізованого водопостачання невеликих міст, селищ міського типу, райцентрів і сіл Полтавської області. Продуктивність свердловин складає 3...4 л/с. Хімічний склад і мінералізація води змінюється від північно-західної частини басейну до південно-східної – від гідрокарбонатно-кальцієвих вод з мінералізацією 500...700 мг/л до хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвих з мінералізацією 1200...3000 мг/л. Хімічний склад підземних вод визначається процесами розчинення порід водотривів: мергельно-крейдянної підшоши та мергельно-глиняної покрівлі, а тому вони містять фтор.

Третій потужний горизонт – це сеноман-нижньокрейдяний горизонт, який складений крупнозернистими та гравелистими кварцевими пісками. Живлення цього водоносного горизонту здійснюється шляхом інфільтрації атмосферних опадів на північно-східній границі басейну, а також шляхом переливу частини тріщинних вод від кристалічних порід Українського кристалічного щита. Горизонт у межах Полтавської області знаходиться на глибині 400...900 м. Дебіти нових високопродуктивних свердловин з гравійною обсіпкою фільтрів сягають 100 л/с (8 тис. м³/добу). Води хлоридно-гідрокарбонатно-натрієві з мінералізацією до 1000 мг/л.

Ураховуючи викладене, приймаємо джерелом централізованого водопостачання села пункту бучацький водоносний горизонт. Проведений хімічний аналіз показав, що якість води відповідає вимогам ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [1]. Концентрація фтору становить 1,2мг/дм³.

Водозабірні свердловини влаштовуємо на відстані 0,1 км від забудови сільського населеного пункту у південному напрямку біля дороги до молочно-товарного комплексу. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-74:2013 прийнята 1 робоча і 1 резервна свердловина. Навколо кожної свердловини влаштовано огорожу (дротяна сітка по залізобетонним стовпчикам), яка визначає санітарну зону строгого режиму в радіусі 30 м навколо кожної свердловини. На території 1-ої свердловини знаходиться водонапірна башта об'ємом 100 м³. Від свердловини до села прокладено водогін, яким вода зі свердловин надходить у водопровідну мережу села.

4.4 Вибір схеми системи водопостачання та трасування водопровідної мережі

Система водопостачання призначена тільки для виконання господарсько-питних функцій. Пожежогасіння в сільському населеному пункті виконується незалежно від системи водопостачання – за допомогою пожежних автомобілів із забиранням води з поверхневої водойми – ставка. Тоді, відповідно до вимог ДБН В.2.5-74:2013 [6], у даному сільському населеному пункті може бути влаштована водопровідна мережа розгалуженого типу, якщо діаметри труб не перевищують 100 мм. Зважаючи на викладене, у сільському населеному пункті запроектована розгалужена водопровідна мережа (рис. 4.1). Ділянки водопровідної мережі прокладені так, щоб було якомога більше двосторонніх підключень споживачів. Утворилась розгалужена водопровідна мережа, яка має 6 кінцевих споживачів – будинків садибного типу та 11 ділянок мережі.

Матеріал труб водопровідної мережі прийнято з урахуванням наступних факторів:

- ДБН В.2.5-74:2013 вимагає застосовувати, в першу чергу, неметалеві труби;
- підземна вода, зазвичай має значний солевміст і тому може призводити до корозії внутрішньої поверхні металевих труб;
- підземна вода буцацького горизонту має температуру +12 °С; у цьому разі на зовнішній поверхні металевих труб влітку в ґрунті утворюється конденсат, який призводить до зовнішньої корозії металевих труб;
- на внутрішній поверхні металевих труб можуть утворюватися відкладення продуктів корозії металу, що суттєво зменшує пропускну спроможність таких труб.

Зважаючи на вказані фактори, для розгалуженої водопровідної мережі та водогону прийнято поліетиленові труби.

4.5 Підготовка водопровідної мережі до розрахунку

4.5.1 Визначення довжин ділянок мережі

Після трасування магістральної водопровідної мережі визначались вузли мережі та ділянки між цими вузлами. Для уточнення гідравлічних розрахунків визначено приведені довжини ділянок за наступним правилом:

$$L_{np} = \begin{cases} L & \text{– при двосторонній забудові вздовж ділянки;} \\ L/2 & \text{– при односторонній забудові;} \\ 0 & \text{– при відсутності забудови,} \end{cases}$$

де L – фактична довжина ділянки, яка виміряна на плані міста, м.

Приведені довжини ділянок мережі занесено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Приведені довжини ділянок мережі

№№ ділянок	1 – 7	2 – 8	3 – 9	4 – 10	5 – 10	6 – 11	11 – 12	7 – 11	7 – 8	8 – 9	9 – 10	Усьо- го
Приве- дена довжи- на, м	500	488	486	508	224	184	410	132	50	40	42	3064

4.5.2. Визначення питомих витрат води

Питомі витрати води для розгалуженої водопровідної мережі визначено за формулою

$$q_n = \frac{Q_{заг} - Q_{зос}}{\sum L_{np}} = \frac{Q_p}{\sum L_{np}}, \text{ л/с на 1м,} \quad (4.5)$$

де $Q_{заг}$ – загальна кількість води, що віддає мережа, л/с;

$Q_{зос}$ – зосереджені витрати води (підприємства), л/с;

Q_p – рівномірно розподілена витрата води, л/с;

$\sum L_{np}$ – сума приведених довжин ділянок мережі, м (за даними таблиці 4.2).

Розрахунок питомих витрат зведено в таблицю 4.3.

Питомі витрати води

№ з/п	Витрата, л/с	Розрахунковий період – максимальний водорозбір
1	Загальна витрата з мережі $Q_{заг}$	27,5 м ³ /год, або 7,6 л/с
2	Зосереджені витрати (підприємства) $Q_{зос}$	–
3	Рівномірно розподілена витрата Q_p	7,6 л/с
4	Питома витрата q_i , л/с на 1м	0,00248

4.5.3 Визначення шляхових витрат води

Шляхові витрати води визначено за формулою

$$Q_{ш} = q_n \cdot L_{np}, \text{ л/с.} \quad (4.6)$$

Розрахунки зведено в таблицю 4.4.

Обчислення шляхових і вузлових витрат води виконано з точністю до 0,1 л/с для зручності розрахунків.

Сума шляхових витрат води дорівнює рівномірно розподіленій витраті

$$\sum Q_{ш} = Q_p.$$

Таблиця 4.4

Шляхові витрати води

№№ ділянок	Приведена довжина L_{np} , м	Шляхова витрата, л/с, для максимального водорозбору
1 – 7	500	1,24
2 – 8	488	1,21
3 – 9	486	1,20
4 – 10	508	1,26
5 – 10	224	0,55
6 – 11	184	0,45
11 – 12	410	1,02
7 – 11	132	0,33
7 – 8	50	0,13
8 – 9	40	0,10
9 – 10	42	0,11
Разом	3064	7,60

4.5.4 Визначення вузлових витрат води

Вузлові витрати води визначено за формулою

$$Q_v = 0,5 \sum Q_{ш}, \text{ л/с.} \quad (4.7)$$

Розрахунок зведено в таблицю 4.5.

4.5.5 Потокорозподіл води та призначення діаметрів ділянок мережі

Потокорозподіл води виконано для періоду максимального водозабору з урахуванням 1-ого закону Кірхгофа $\sum_{\text{вузла}} Q = 0$ (рис. 4.2). Для цього на розрахунковій схемі стрілками показані обчислені вузлові витрати води і обраховані витрати води на ділянках водопровідної мережі. Керуючись таблицями Ф.О. Шевельова [19], прийнято діаметри труб ділянок водопровідної мережі з поліетиленових труб, які наведені на рис. 4.3.

Таблиця 4.5

Вузлові витрати води

№ вузла	№№ ділянок, що прилягають до вузла	Вузлові витрати, л/с, для максимального водозабору	
		$\sum Q_{\text{ш}}$	$Q_{\text{в}}$
1	1-7	1,24	0,62
2	2-8	1,21	0,61
3	3-9	1,20	0,60
4	4-10	1,26	0,62
5	5-10	0,55	0,28
6	6-11	0,45	0,23
7	1-7, 7-8, 7-11	1,70	0,85
8	2-8, 7-8, 8-9	1,44	0,72
9	8-9, 3-9, 9-10	1,41	0,70
10	4-10, 9-10, 5-10	1,92	0,99
11	6-11, 11-12, 7-11	1,80	0,90
12	11-12	1,02	0,51
	Разом	15,20	7,60

Сума вузлових витрат дорівнює рівномірно розподіленій витраті води.

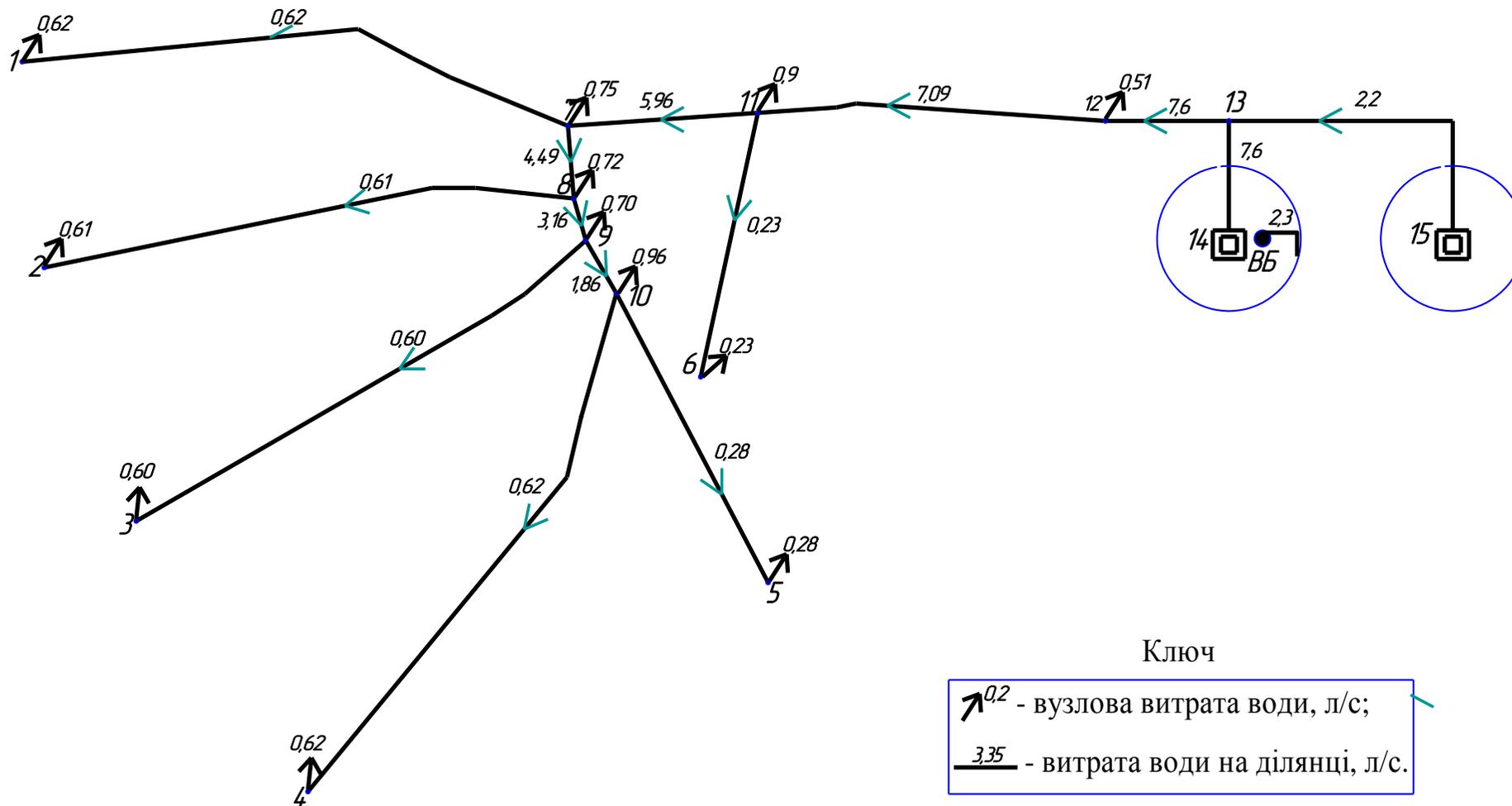


Рис. 4.2 Потокорозподіл води на ділянках мережі для години максимального водорозбору

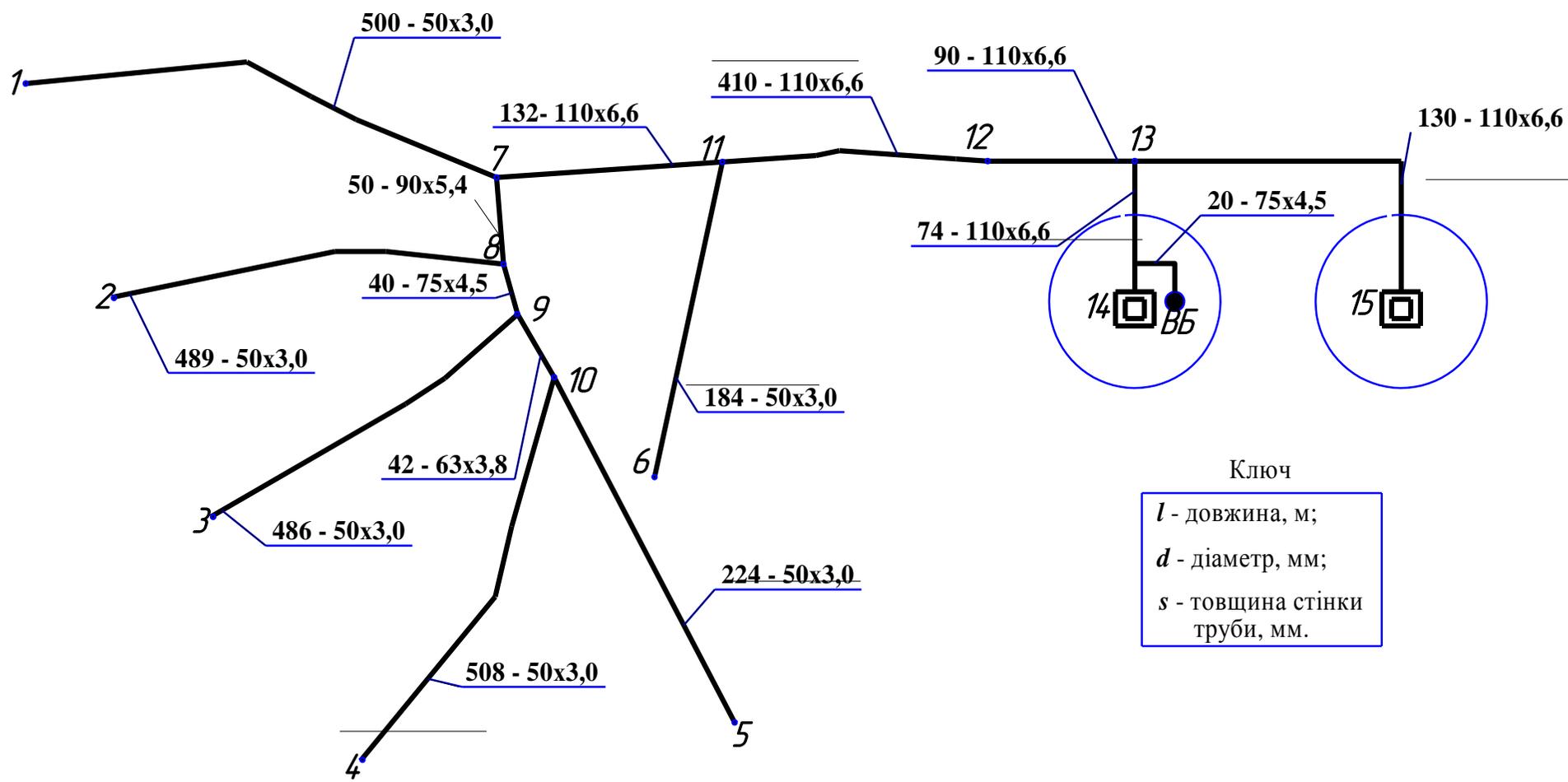


Рис. 4.3 Довжини і діаметри труб ділянок водопровідної мережі

4.6 Обчислення показників надійності свердловини

Відповідно до вимог ДБН [6] на водозаборі прийнято 2 свердловини, з яких одна робоча та одна резервна. Конструкція свердловини включає фільтр, обсадну трубу, насосний агрегат, водопідіймальну трубу, блок управління, засувку та зворотний клапан (рис. 4.4). Вихід з ладу кожного з цих елементів призводить до виходу з ладу (зупинки) свердловини у цілому. Тому, з точки зору надійності, вказані елементи поєднані послідовно. Математичною моделлю для розрахунку надійності свердловини прийнято ланцюг цих послідовно поєднаних елементів.

Безвідмовність свердловини оцінюється **параметром потоку відмов**, який обчислюємо як для послідовно поєднаних відновлюваних елементів

$$\omega = \omega_{\phi} + \omega_{o.m} + \omega_{n.a} + \omega_{в.т} + \omega_{б.у} + \omega_{к} + \omega_{з}, \text{ 1/год}, \quad (4.8)$$

де ω_{ϕ} , $\omega_{o.m}$, $\omega_{n.a}$, $\omega_{в.т}$, $\omega_{б.у}$, $\omega_{к}$, $\omega_{з}$ – параметри потоку відмов фільтра, обсадної труби, насосного агрегата, водопідіймальної труби, блока управління, зворотного клапана, засувки, 1/год.

Скористаємось даними Ю.О. Ільїна [16] щодо надійності окремих елементів водозабірної свердловини, які наведені на рисунку 4.4 і виконаємо обчислення.

Параметр потоку відмов обсадної сталеві труби діаметром 159 мм

$$\omega_{o.m} = \omega_0 l_{o.m} = 0,12 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{120}{1000} = 0,00000144 = 0,0144 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

де $l_{o.m}$ = 120 м – довжина обсадної труби;

$\omega_0 = 0,12 \cdot 10^{-4}$ 1/год·км – питомий параметр потоку відмов труби.

Параметр потоку відмов водопідіймальної сталеві труби діаметром 70 мм

$$\omega_{в.т} = \omega_0 l_{в.т} = 1,02 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{85}{1000} = 0,0000086 = 0,086 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

де $l_{в.т}$ = 85 м – довжина водопідіймальної труби;

$\omega_0 = 1,02 \cdot 10^{-4}$ 1/год·км – питомий параметр потоку відмов труби.

Параметр потоку відмов водозабірної свердловини

$$\omega = (1,25 + 0,0144 + 1,5 + 0,086 + 0,95 + 0,08 + 0,6) \cdot 10^{-4} = 4,4804 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год} \\ \cong 4,48 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}.$$

Середнє напрацювання на відмову свердловини складає

$$T = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{4,4804 \cdot 10^{-4}} = 2232 \text{ год} \cong 3 \text{ міс}.$$

Середній час відновлення працездатності свердловини приймемо, за даними експлуатації, $T_B = 12$ год.

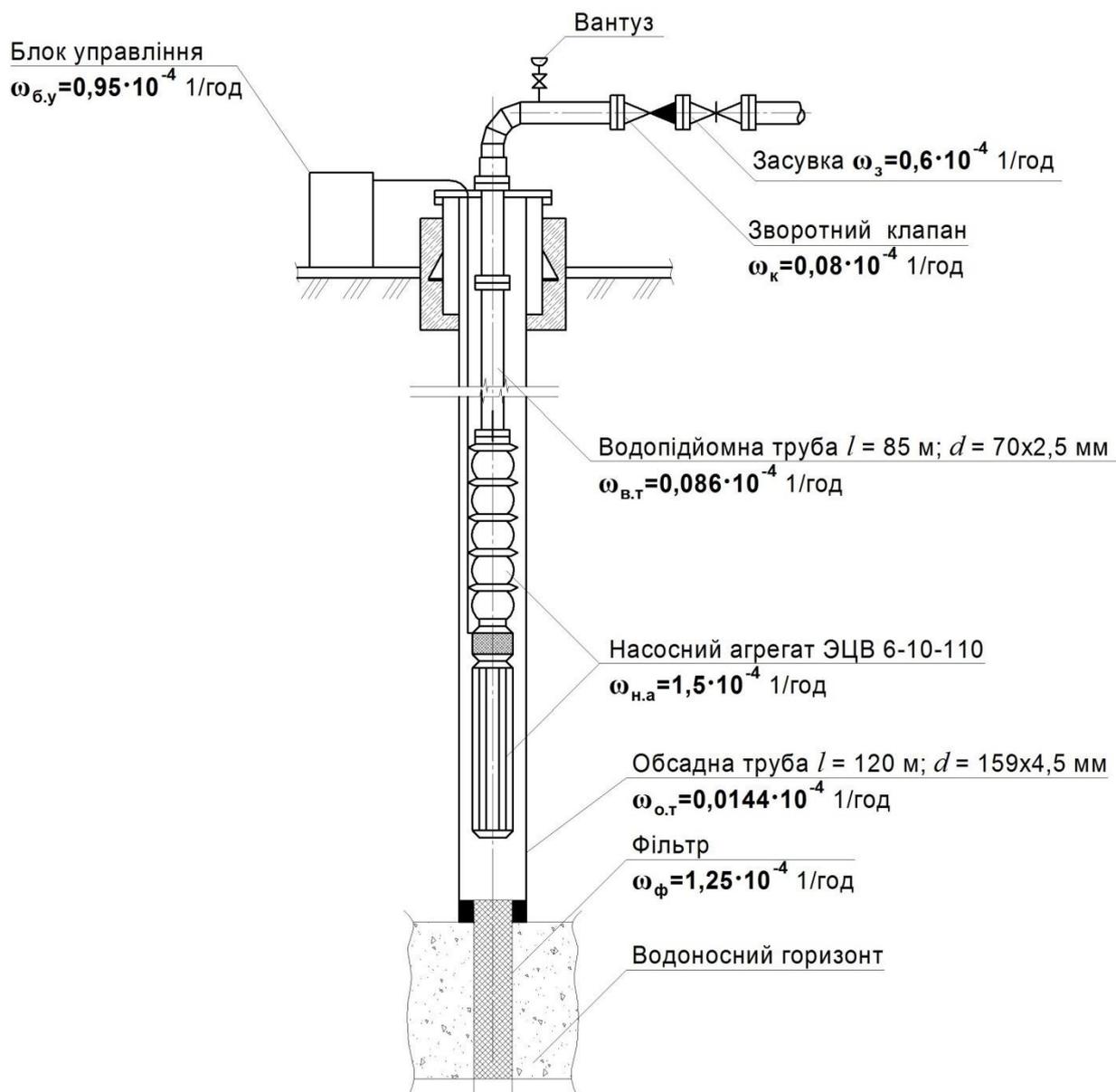
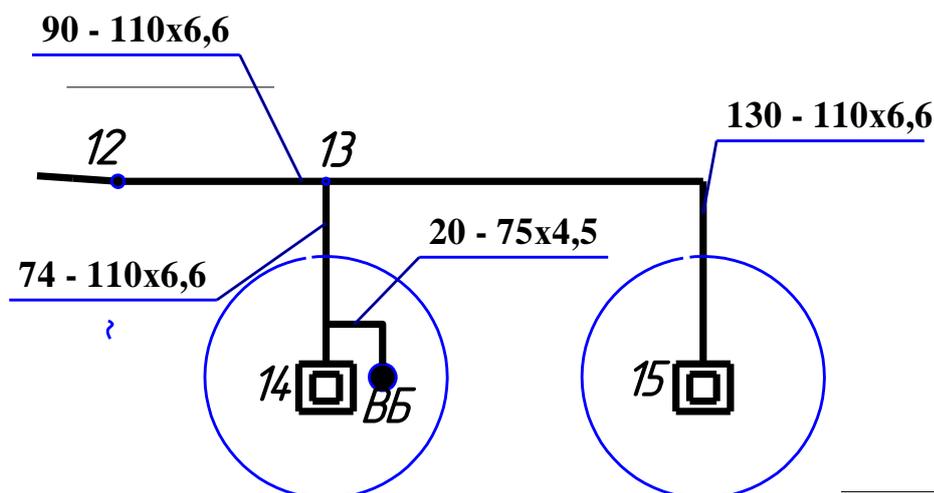


Рис. 4.4 Схема водозабірної свердловини з показниками надійності її елементів

4.7 Обчислення показників надійності водогону

Вода з підземного водозабору подається (рис. 4.5) у розгалужену водопровідну мережу сільського населеного пункту водогonom в 1 нитку з поліетиленових труб діаметром 110х6,6мм довжиною 90 м (від вузла 13 до вузла 12). Від свердловини №2 (вузол №15) до вузла 13 прокладено водогін з поліетиленових труб діаметром 110х6,6мм довжиною 130 м.



Ключ: l - довжина, м; d - діаметр, мм; s - товщина стінки труби, мм.

Рис. 4.5 Схема розташування свердловин

Зважаючи на те, що вказані трубопроводи повинні працювати одночасно, з точки зору надійності вони поєднані послідовно. Тоді, з урахуванням однакового значення параметра потоку відмов, формула набуває вигляду

$$\omega_{вод} = \omega_0 \sum_{i=1}^n l_i = \omega_{mp}, \quad (4.9)$$

де ω_{mp} - параметр потоку відмов трубопроводу, 1/год·км;
 ω_0 - параметр потоку відмов поліетиленових труб (прийнято $\omega_0 = 0,44$ 1/рік·км = $0,5 \cdot 10^{-4}$ 1/год·км; $T_B = 8$ год; за існуючими статистичними даними [20]);

$$\omega_{вод} = 0,5 \cdot 10^{-4} (0,130 + 0,090 + 0,074) = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ 1 / год.}$$

Середнє напрацювання на відмову водогону

$$T = \frac{l}{\omega} = \frac{1}{0,11 \cdot 10^{-4}} = 90909 \text{ год} \cong 10,4 \text{ року.}$$

Середній час відновлення працездатності водогону $T_B = 8$ год залишиться без змін, зважаючи на однакові діаметри труб.

4.8 Надійність водопостачання за напрямками подавання води

Під **надійністю системи водопостачання** будемо розуміти її здатність забезпечити вимоги споживача щодо частоти та тривалості перерв у водопостачанні. Зважаючи на те, що вода подається розгалуженою мережею, будемо розглядати напрямки подавання води від вододжерела до диктувальних споживачів, котрі знаходяться у найгірших умовах з точки зору надійності. Цих споживачів назвемо **диктувальними** і будемо визначати як часто і як довго у них буде відсутня вода. **Критерієм відмови системи водопостачання** за напрямком подавання води будемо вважати відсутність води у диктувального споживача.

Кількість напрямків подавання води відповідає кількості кінцевих споживачів на водопровідній мережі. Згідно з трасуванням водопровідної мережі сільсько-го населеного пункту потрібно аналізувати надійність водопостачання за 6-ма на-

прямаками виходячи з того, що маємо 6 кінцевих споживачів води (рис. 4.6). Відповідно до нумерації вузлів на плані водопровідної мережі формуємо наступні напрямки:

- 4 – 10 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина;
- 5 – 10 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина;
- 3 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина;
- 2 – 8 – 7 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина;
- 1 – 7 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина;
- 6 – 11 – 12 – 13 – 15 – свердловина.

Застосована нумерація кінцевих споживачів початковими цифрами дозволила перерахувати всі, без пропусків, напрямки подавання води. Для підготовки напрямків для розрахунку надійності виконаємо попередні обчислення (табл. 4.6). Надійність водогону і свердловини визначена раніше, тому вони не включаються у вказаний перелік ділянок (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Довжина ділянок мережі за напрямками

№ з/п	Напрямок подавання води	Перелік ділянок напрямку	Довжина L , км
1	1 – 7 – 11 – 12	1 – 7, 7 – 11, 11 – 12	$0,500+0,132+0,410=1,042$
2	2 – 8 – 7 – 11 – 12	2 – 8, 8 – 7, 7 – 11, 11 – 12	$0,488+0,040+0,050+0,132+0,410=1,080$
3	3 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12	3 – 9, 8 – 9, 8 – 7, 7 – 11, 11 – 12	$0,486+0,040+0,050+0,132+0,410=1,118$
4	4 – 10 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12	4 – 10, 9 – 10, 8 – 9, 8 – 7, 7 – 11, 11 – 12	$0,508+0,042+0,040+0,050+0,132+0,410=1,182$
5	5 – 10 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12	5 – 10, 9 – 10, 8 – 9, 8 – 7, 7 – 11, 11 – 12	$0,224+0,042+0,040+0,050+0,132+0,410=0,898$
6	6 – 11 – 12	6 – 11, 11 – 12	$0,184+0,410=0,594$

Безвідмовність споруд водопостачання за напрямком визначає безперервність подавання води та оцінюється параметром потоку відмов.

Параметр потоку відмов за напрямком подавання води визначаємо за формулою

$$\omega_n = \omega_{св} + \omega_{вод} + \omega_m = \omega_{св} + \omega_{вод} + \omega_0 L, \text{ 1/год}, \quad (4.10)$$

де $\omega_{св}$ – параметр потоку відмов свердловини $\omega_{св} = 4,48 \cdot 10^{-4}$ 1/год;

$\omega_{вод}$ – параметр потоку відмов водогону $\omega_{вод} = 0,11 \cdot 10^{-4}$ 1/год;

$\omega_m = \omega_0 L$ – параметр потоку відмов мережі за напрямком подавання води, 1/год;

$\omega_0 = 0,5 \cdot 10^{-4}$ 1/год·км – питомий параметр потоку відмов для поліетиленових труб.

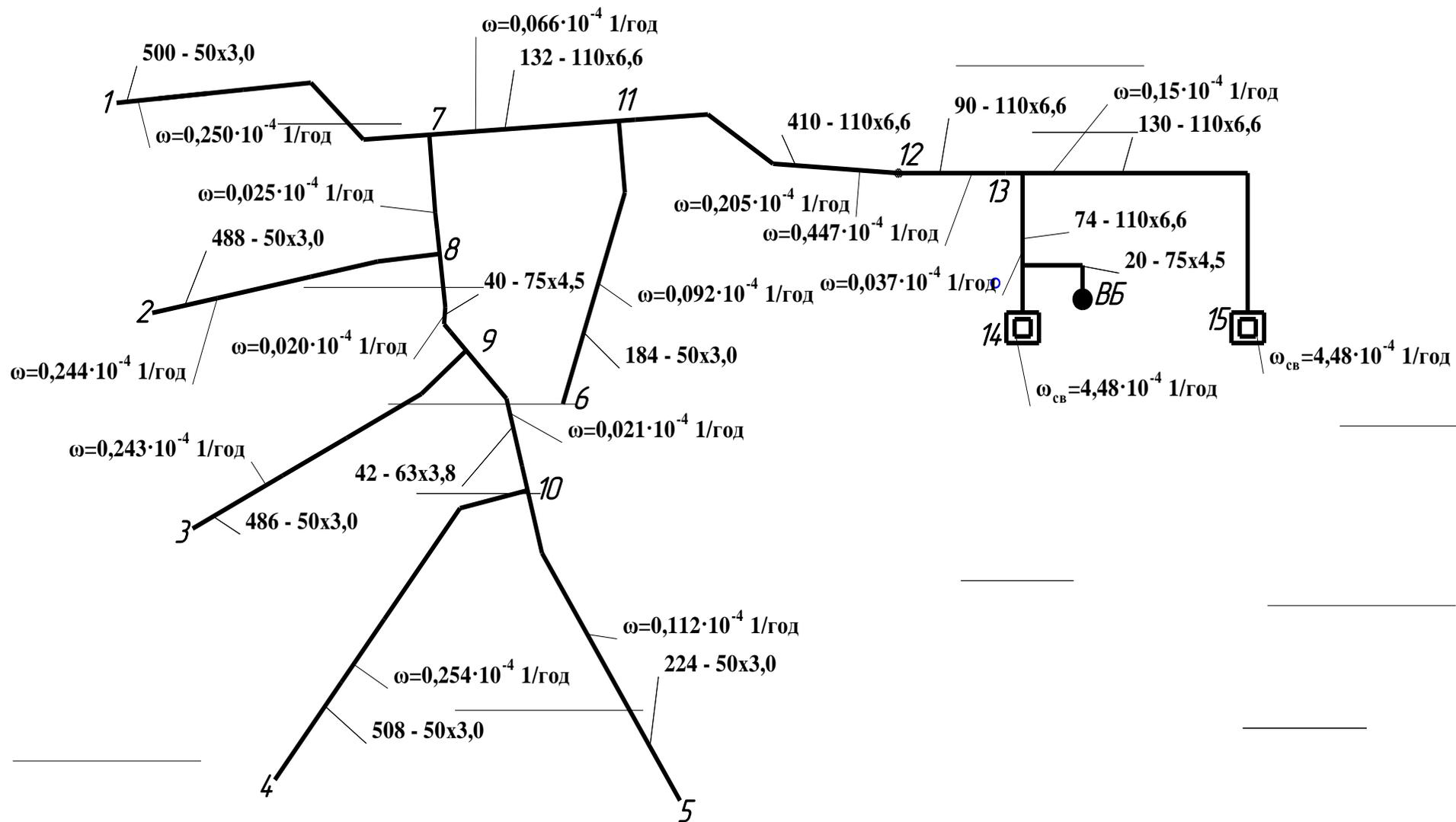


Рис. 4.6 Схема системи водопостачання для розрахунку безвідмовності

Середнє напрацювання на відмову складає

$$T = \frac{I}{\omega_n}, \text{ год.} \quad (4.11)$$

Середнє напрацювання на відмову визначає середню тривалість працездатного стану між перервами у постачанні води. Середній час відновлення працездатності водопровідних споруд визначає тривалість перерви у постачанні води споживачу.

Середній час відновлення працездатності системи водопостачання за вибраним напрямком подавання води визначаємо як середньозважену величину

$$T_B = \frac{\omega_{ce} T_{B_{ce}} + \omega_{вод} T_{B_{вод}} + \omega_m T_{B_m}}{\omega_{ce} + \omega_{вод} + \omega_m}, \text{ год}, \quad (4.12)$$

де $T_{B_{ce}}$, $T_{B_{вод}}$, T_{B_m} – середній час відновлення працездатності, відповідно, свердловини, водогону, мережі.

Розрахунки безвідмовності водопостачання виконано у табличній формі (табл. 4.7). Графічне представлення безвідмовності водопостачання за напрямками подавання води у вигляді епюр середнього напрацювання на відмову представлено на рис. 4.7.

Таблиця 4.7

Безвідмовність системи водопостачання за напрямками подавання води

№ з/п	Напрямок подавання води	Загальна довжина труб мережі L , км	Параметр потоку відмов, 1/год:				Середнє напрацювання на відмову	
			мережі ω_m 10^{-4}	свердловини ω_{ce} 10^{-4}	водогону $\omega_{вод}$ 10^{-4}	загальний ω_n 10^{-4}	годин	місяців
1	1-15	1,042	0,521	4,48	0,11	5,111	1957	2,7
2	2-15	1,08	0,54	4,48	0,11	5,13	1949	2,7
3	3-15	1,118	0,559	4,48	0,11	5,149	1942	2,7
4	4-15	1,182	0,591	4,48	0,11	5,181	1930	2,7
5	5-15	1,042	0,521	4,48	0,11	5,111	1957	2,7
6	6-15	0,594	0,297	4,48	0,11	4,887	2046	2,8

Аналогічно, розрахунки відновлюваності водопостачання виконаємо в табличній формі (табл. 4.8)

Відновлюваність працездатності системи водопостачання за напрямками
подавання води

№ з/п	Напрямок подавання води	Середній час відновлення працездатності, год:			
		мережі $T_{B_{mp}}$	свердловини $T_{B_{сз}}$	водогону $T_{B_{вод}}$	системи водопостачання за напрямком подавання води T_B
1	1-15	8,0	12,0	8,0	11,51
2	2-15	8,0	12,0	8,0	11,49
3	3-15	8,0	12,0	8,0	11,48
4	4-15	8,0	12,0	8,0	11,46
5	5-15	8,0	12,0	8,0	11,51
6	6-15	8,0	12,0	8,0	11,67

ВИСНОВКИ

1. Найбільша частина перерв водопостачання у диктувального споживача №4 $T = 1930$ год = 2,9 місяця. Тобто, перерви водопостачання будуть у середньому 1 раз на 3 місяця, але це значно рідше за нормативну вимогу – 1 раз на 0,5 місяця; вказане означає, що вимога з безперервності водопостачання виконується.

2. Середній час відновлень водопостачання становить $T_B = 11,7$ год, що значно менше за допустиме значення $T_B = 24$ год.

3. У цілому, надійність системи водопостачання сільського населеного пункту достатня.

Масштаби: горизонтальний 1:10000; Вертикальний 1 см – 2000 год.

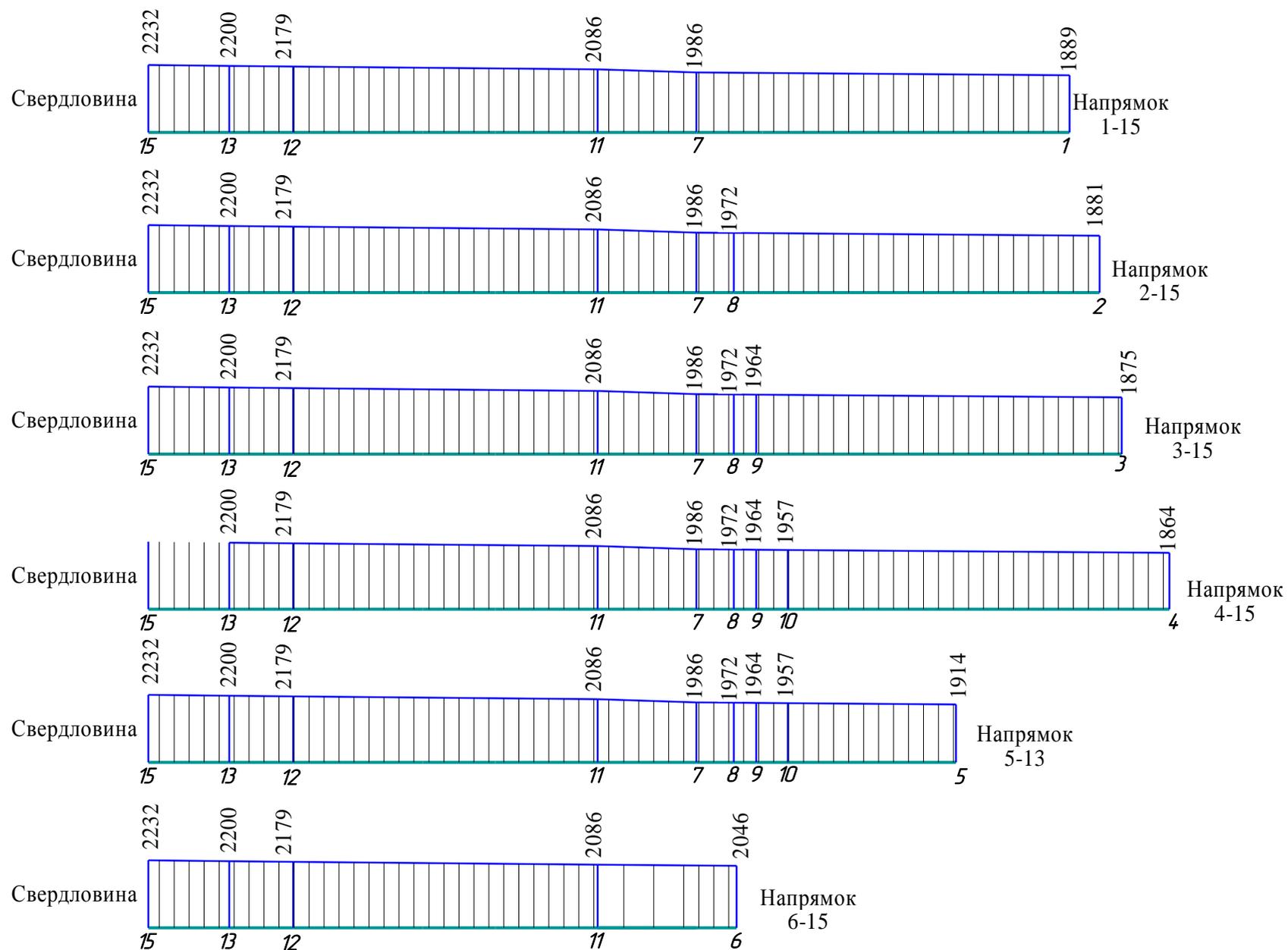


Рис. 4.7 Епюри середнього напруцювання на відмову за напрямками подавання води

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості: ДСТУ 7525:2014. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 25 с.
2. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с.
3. Водопостачання і каналізація. Терміни та визначення: ДСТУ 2569-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 32 с.
4. Методика выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств: МУ 3-69. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 39 с.
5. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення. Постанова Кабінету Міністрів України №630 від 21.07.2005р.
6. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74:2013. – К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 280 с.
7. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація / В.Г. Новохатній. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 351 с.
8. Рекомендации по инженерному оборудованию сельских населенных пунктов. В 6-ти частях. Часть 2. Водоснабжение / ЦНИИЭП Инженерного оборудования. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
9. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України № 2918-III від 10.01.2002 р.
10. Надежность технических систем. Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
11. Новохатний В.Г. Анализ надежности насосных станций систем подачи и распределения воды / В.Г. Новохатний // Водоснабжение и санитарная техника. – 1972. – №8. – С. 1-6
12. Новохатний В.Г. Надежность насосных станций (методика расчета)/ В.Г. Новохатний. – Полтава: Полтавский ИСИ, 1988. – 21 с. – Деп. во ВНИИИС. – №7843
13. Ушаков И.А. Инженерные методы расчета надежности. Вып. IV / И.А. Ушаков. – М.: Знание, 1970. – 92 с.
14. Новохатний В.Г. Надежность насосных станций (формулы расчета для систематизированного ряда)/ В.Г. Новохатний, Н.В. Григоренко. – Полтава: Полтавский ИСИ, 1988. – 32 с. Деп. во ВНИИИС. – №7840
15. Новохатній В.Г. Удосконалений метод розрахунку надійності насосних станцій систем водопостачання / В.Г. Новохатній // Науковий вісник будівниц-

тва: Зб. наук. праць. – Вип. 60. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – С. 252-256.

16. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.

17. Новохатній В.Г. Графічне подання надійності розгалужених водопровідних мереж / В.Г. Новохатній // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Вип. 3(77). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. – С. 129-131.

18. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – К.: Держбуд України, 2002. – 109 с.

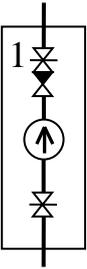
19. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

20. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети / С.В. Храменков. – М.: ОАО “Стройиздат”, 2005. – 400 с.

21. Костенко С.О. Надійність виробничих і групових водопроводів з мережами розгалуженого типу: дис. канд. техн. наук: спеціальність 05.23.04 – водопостачання, каналізація / С.О. Костенко. – Полтава, ПолтНТУ, 2017. – 198 с.

22. Новохатній В.Г. Комп’ютерний розрахунок надійності насосних станцій / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. ХНАМГ. – К.: Техніка, 2011. – Вип. 97. – С. 126-131.

ДОДАТОК А.1

Технологічні схеми насосних станцій	Формули для визначення напрацювання на відмову T_{nc}
	Формули для визначення середнього часу відновлення T_{Bnc}
1-0	1 насос робочий, 0 резервних
№1 	$\omega_1 = \omega_{зв} + \omega_n + \omega_k + \omega_{зн};$ $v_1 = \omega_1; \quad \omega_{nc} = v_1; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_1}.$
	$T_{B1} = \frac{\omega_{зв} T_{Bзв} + \omega_n T_{Bн} + \omega_k T_{Bк} + \omega_{зн} T_{Bзн}}{\omega_{зв} + \omega_n + \omega_k + \omega_{зн}};$ $T_{Bnc} = T_{B1}.$

Позначення:

 – насосний агрегат робочий;

 – насосний агрегат резервний;

 – засувка;

 – зворотний клапан;

 – укрупнений елемент насосної станції
(1 – номер елемента);

ω_i – параметр потоку відмов i -го елемента;

v_i – вклад i -го елемента в потік відмов насосної станції;

K_{pi} – коефіцієнт простою i -го елемента;

T_{Bi} – середній час відновлення i -го елемента;

н – насос; **к** – зворотний клапан;

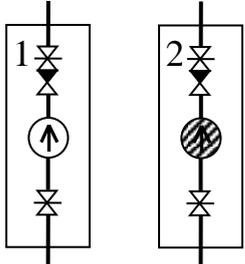
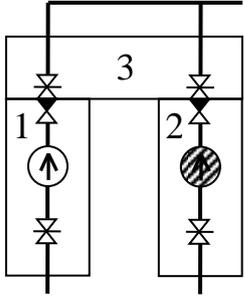
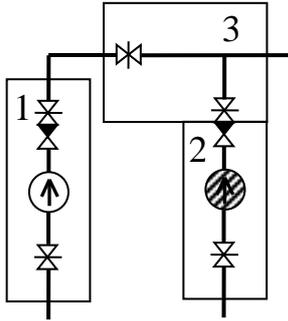
зн – засувка на напірній лінії;

зв – засувка на всмоктувальній лінії;

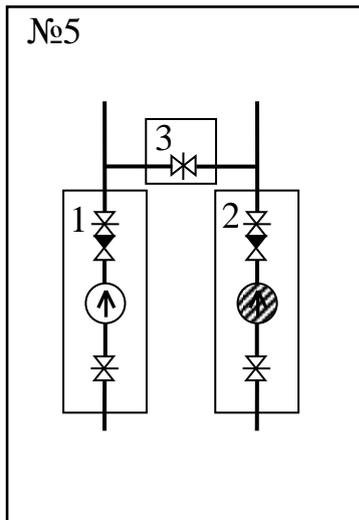
звк – засувка на всмоктувальному колекторі;

знк – засувка на напірному колекторі.

ДОДАТОК А.2

1-1	1 насос рабочий, 1 резервный
<p>№2</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1 K_{П2}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$ $T_{BHC} = T_{B1} = T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}.$
<p>№3</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_3 = 2\omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1 K_{П2}; \quad v_3 = \omega_3 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_{HC} = v_1 + v_3;$ $T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3}.$ $T_{B1} = T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B3} = T_{B3H}; \quad T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_3}.$
<p>№4</p> 	$\omega_1 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \quad \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$ $\omega_3 = 2\omega_{3H}; \quad v_1 = \omega_1 K_{П2}; \quad v_3 = \omega_3 = 2\omega_{3H};$ $\omega_{HC} = v_1 + v_3; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3}.$ $T_{B1} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$ $T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B3} = T_{B3H}; \quad T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_3}.$

Продовження додатка А.2



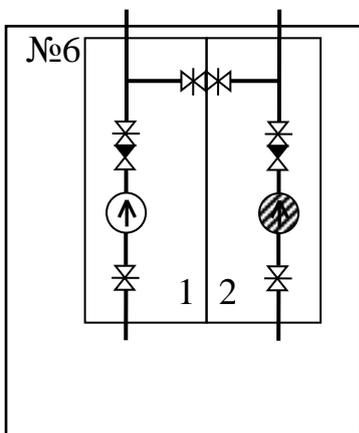
$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \quad \omega_3 = \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{п2}; \quad v_3 = \omega_3; \quad \omega_{HC} = v_1 + v_3;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

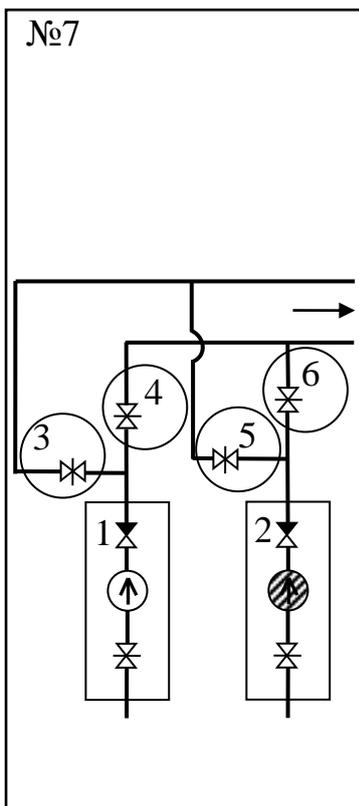
$$T_{B3} = T_{B_{3HK}}; \quad T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_3}.$$



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{п2}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$$

$$T_{B_{HC}} = T_{B1} = T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}}.$$



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1 (K_{п2} + K_{п5} + K_{п6}); \quad v_3 = \omega_3 (K_{п2} + K_{п6});$$

$$v_4 = \omega_4 (K_{п2} + K_{п5}); \quad v_5 = \omega_5 (K_{п1} + K_{п4});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п1} + K_{п3}); \quad \omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6;$$

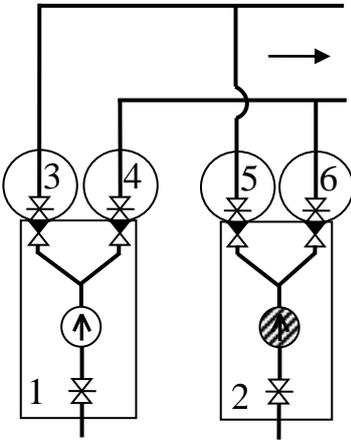
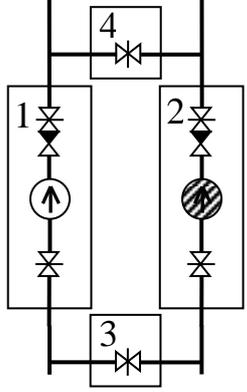
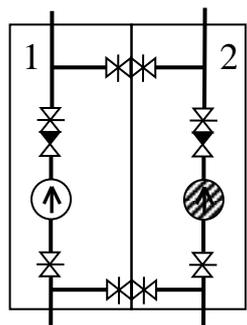
$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

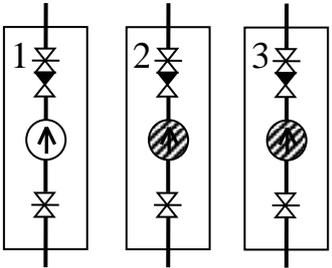
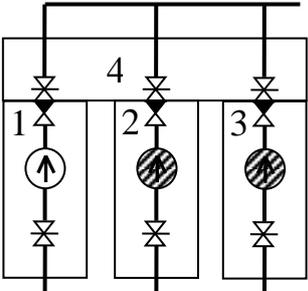
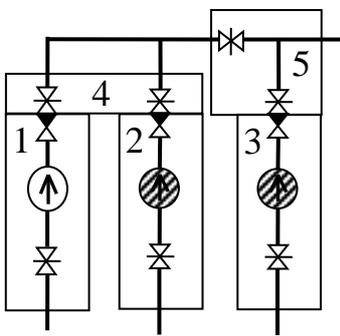
$$T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} = T_{B6} = T_{B_{3H}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6}}{v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6}.$$

Закінчення додатка А.2

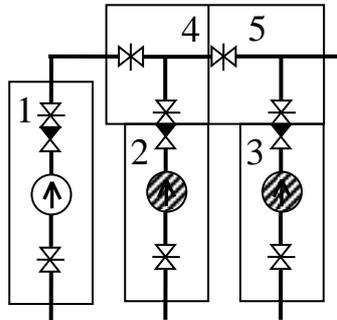
<p>№8</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K;$ $\omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_6}); \quad v_3 = \omega_3(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_6});$ $v_4 = \omega_4(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_5}); \quad v_5 = \omega_5(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_4});$ $v_6 = \omega_6(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_3}); \quad \omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6;$ $T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6}.$
<p>№9</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $\omega_3 = \omega_{3BK}; \quad \omega_4 = \omega_{3HK};$ $v_1 = \omega_1 K_{\Pi_2}; \quad v_3 = \omega_3 = \omega_{3BK}; \quad v_4 = \omega_4 = \omega_{3HK};$ $\omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_4; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_4}.$
<p>№10</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$ $v_1 = \omega_1 K_{\Pi_2}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$
	$T_{BHC} = T_{B1} = T_{B2} =$ $= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}}.$

ДОДАТОК А.3

1-2	1 насос рабочий, 2 резервных
<p>№11</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1 K_{п2} K_{п3}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$ $T_{B_{HC}} = T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} =$ $= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}.$
<p>№12</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_4 = 3\omega_{3H};$ $v_4 = \omega_4 = 3\omega_{3H}; \quad \omega_{HC} = v_4;$ $T_{HC} = \frac{1}{v_4}.$ $T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B_4} = T_{B_{3H}}; \quad T_{B_{HC}} = T_{B_4}.$
<p>№13</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_4 = \omega_5 = 2\omega_{3H};$ $v_4 = \omega_4 K_{п3}; \quad v_5 = \omega_5 = \omega_{3H} + \omega_{3HK}; \quad \omega_{HC} = v_4 + v_5;$ $T_{HC} = \frac{1}{v_4 + v_5}.$ $T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B_4} = T_{B_5} = T_{B_{3H}}; \quad T_{B_{HC}} = \frac{v_4 T_{B_4} + v_5 T_{B_5}}{v_4 + v_5}.$

Продовження додатка А.3

№14



$$\omega_1 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \quad \omega_4 = \omega_5 = 2\omega_{3H};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$v_4 = \omega_4 K_{\Pi 3}; \quad v_5 = \omega_5 = \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_{HC} = v_4 + v_5;$$

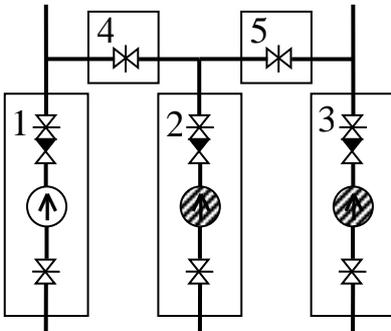
$$T_{HC} = \frac{1}{v_4 + v_5}.$$

$$T_{B1} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B3H}; \quad T_{BHC} = \frac{v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5}}{v_4 + v_5}.$$

№15



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_{3HK}; \quad v_1 = \omega_1 (K_{\Pi 3} + K_{\Pi 5});$$

$$v_4 = \omega_4 K_{\Pi 3}; \quad v_5 = \omega_5 K_{\Pi 1};$$

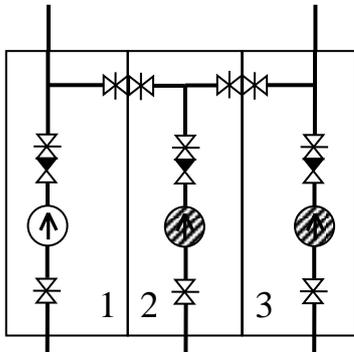
$$\omega_{HC} = v_1 + v_4 + v_5; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_4 + v_5}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B3HK}; \quad T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_4 + v_5}.$$

Продовження додатка А.3

№16



$$\omega_1 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{\Pi 3}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$$

$$T_{B1} = T_{B3} =$$

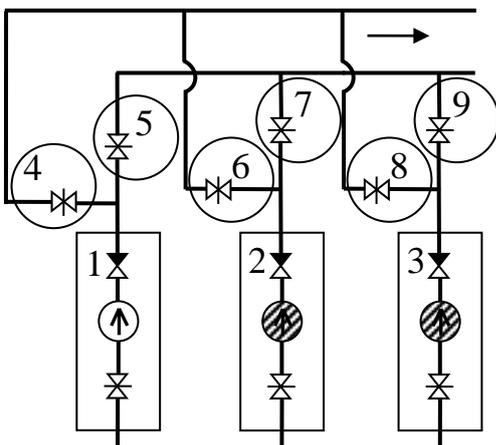
$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B2} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + 2\omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

$$T_{B_{HC}} = T_{B1}.$$

№17



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3H};$$

$$v_4 = \omega_4 (K_{\Pi 7} + K_{\Pi 9}); \quad v_5 = \omega_5 (K_{\Pi 6} + K_{\Pi 8});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{\Pi 5} + K_{\Pi 9}); \quad v_7 = \omega_7 (K_{\Pi 4} + K_{\Pi 8});$$

$$v_8 = \omega_8 (K_{\Pi 5} + K_{\Pi 7}); \quad v_9 = \omega_9 (K_{\Pi 4} + K_{\Pi 6});$$

$$\omega_{HC} = v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

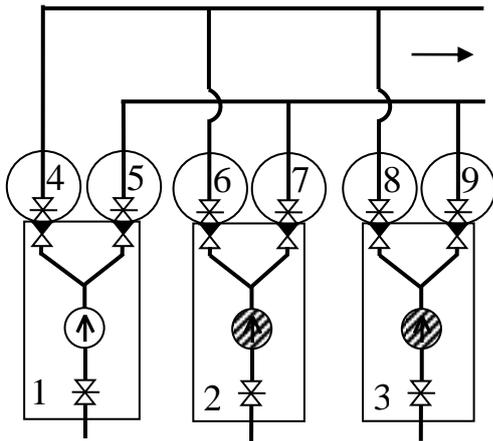
$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B_{3H}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + \dots}{v_4 + v_5 + v_6 + \dots}$$

$$\frac{\dots + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9}}{\dots + v_7 + v_8 + v_9}.$$

Продовження додатка А.3

№18



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K;$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3H};$$

$$v_4 = \omega_4(K_{\Pi_7} + K_{\Pi_9}); \quad v_5 = \omega_5(K_{\Pi_6} + K_{\Pi_8});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{\Pi_5} + K_{\Pi_9}); \quad v_7 = \omega_7(K_{\Pi_4} + K_{\Pi_8});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{\Pi_5} + K_{\Pi_7}); \quad v_9 = \omega_9(K_{\Pi_4} + K_{\Pi_6});$$

$$\omega_{HC} = v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

$$T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + 2\omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K};$$

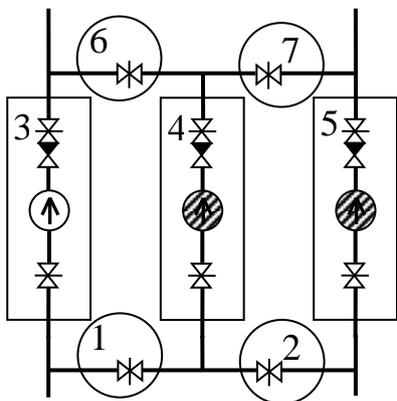
$$T_{B_4} = T_{B_5} = T_{B_6} = T_{B_7} = T_{B_8} = T_{B_9} = T_{B_{3H}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_4 T_{B_4} + v_5 T_{B_5} + v_6 T_{B_6} + \dots}{v_4 + v_5 + v_6 + \dots}$$

$$\frac{\dots + v_7 T_{B_7} + v_8 T_{B_8} + v_9 T_{B_9}}{\dots + v_7 + v_8 + v_9}.$$

Закінчення додатка А.3

№19



$$\omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{3BK}; \quad \omega_6 = \omega_7 = \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{\Pi_5} + K_{\Pi_7}); \quad v_2 = \omega_2(K_{\Pi_3} + K_{\Pi_6});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_7});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_5}); \quad v_7 = \omega_7(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_3});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7;$$

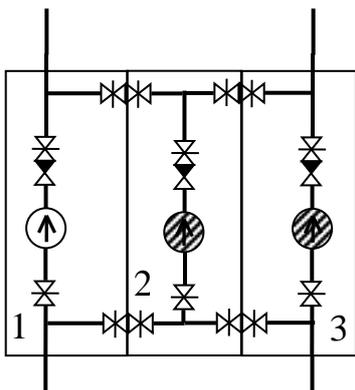
$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7}.$$

$$T_{B_3} = T_{B_4} = T_{B_5} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_{3BK}}; \quad T_{B_6} = T_{B_7} = T_{B_{3HK}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_6 T_{B_6} + v_7 T_{B_7}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7}.$$

№20



$$\omega_1 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{\Pi_3}; \quad \omega_{HC} = v_1; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1}.$$

$$T_{B_1} = T_{B_3} =$$

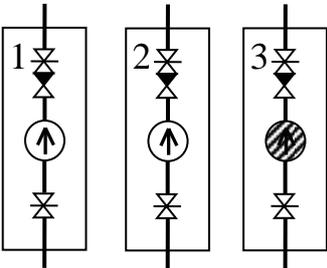
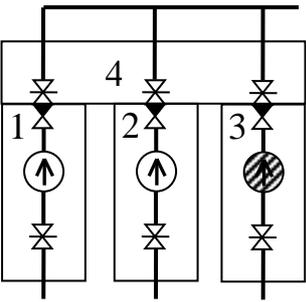
$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_{3BK} T_{B_{3BK}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B_2} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + 2\omega_{3BK} T_{B_{3BK}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + 2\omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

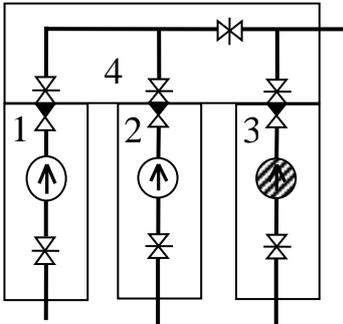
$$T_{B_{HC}} = T_{B_1}.$$

ДОДАТОК А.4

2-1	2 насоси робочих, 1 резервний
<p>№21</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3});$ $\omega_{nc} = v_1 + v_2; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2}.$
<p>№22</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_4 = 3\omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3});$ $v_4 = 3\omega_{3H} = \omega_4; \quad \omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_4;$ $T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_4}.$
	$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B4} = T_{B3H}; \quad T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_4 T_{B4}}{v_1 + v_2 + v_4}.$

Продовження додатка А.4

№23



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_4 = 4\omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3});$$

$$v_4 = \omega_4;$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_4;$$

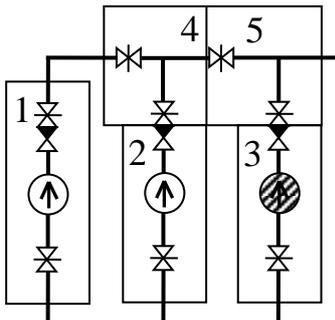
$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_4}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B4} = T_{B_{3H}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_4 T_{B4}}{v_1 + v_2 + v_4}.$$

№24



$$\omega_1 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_4 = \omega_5 = 2\omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3});$$

$$v_4 = \omega_4 K_{п3}; \quad v_5 = \omega_5 = \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_4 + v_5; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_4 + v_5}.$$

$$T_{B1} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

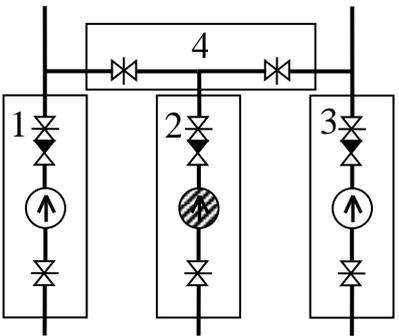
$$T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B_{3H}};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_4 + v_5}.$$

Продовження додатка А.4

№25



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_4 = 2\omega_{3HK}; \quad v_4 = \omega_4;$$

$$v_1 = \omega_1(K_{П2} + K_{П3}); \quad v_3 = \omega_3(K_{П1} + K_{П2});$$

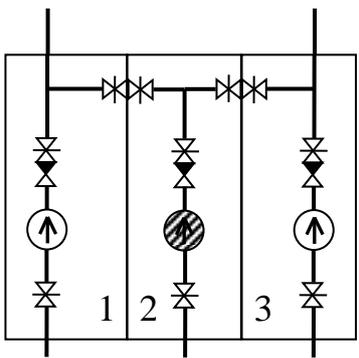
$$\omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_4; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_4}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B4} = T_{B3HK};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3} + v_4 T_{B4}}{v_1 + v_3 + v_4}.$$

№26



$$\omega_1 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{П2} + K_{П3}); \quad v_3 = \omega_3(K_{П1} + K_{П2});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_3; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3}.$$

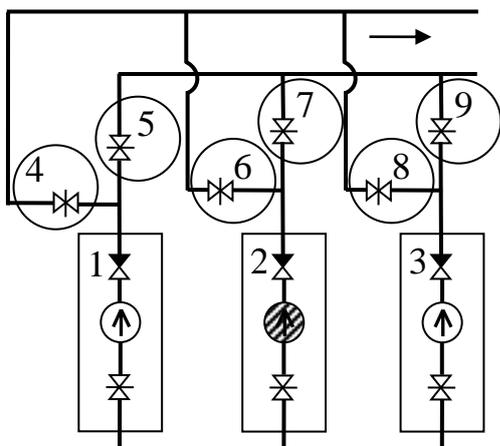
$$T_{B1} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + 2\omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_3}.$$

Продовження додатка А.4

№27



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n9});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n7});$$

$$v_4 = \omega_4(K_{n2} + K_{n3} + K_{n7} + K_{n9});$$

$$v_5 = \omega_5(K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n8});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{n1} + K_{n3} + K_{n5} + K_{n9});$$

$$v_7 = \omega_7(K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n8});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{n1} + K_{n2} + K_{n5} + K_{n7});$$

$$v_9 = \omega_9(K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n6});$$

$$\omega_{nc} = v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9;$$

$$T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

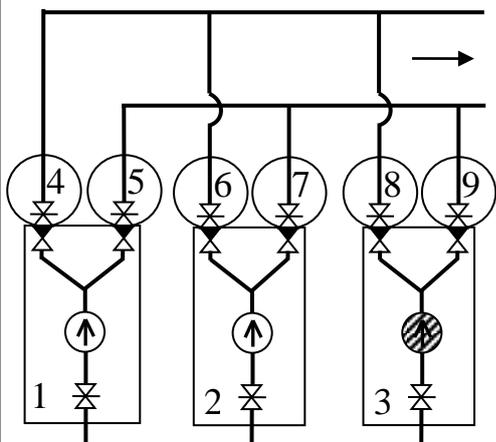
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B3H};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5} + \dots}{v_1 + v_3 + v_4 + v_5 + \dots} \\ \frac{\dots + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9}}{\dots + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

Продовження додатка А.4

№28



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K;$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n9});$$

$$v_2 = \omega_2(K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n8} + K_{n9});$$

$$v_4 = \omega_4(K_{n2} + K_{n3} + K_{n7} + K_{n9});$$

$$v_5 = \omega_5(K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n8});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{n1} + K_{n3} + K_{n5} + K_{n9});$$

$$v_7 = \omega_7(K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n8});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{n1} + K_{n2} + K_{n5} + K_{n7});$$

$$v_9 = \omega_9(K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n6});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_4 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

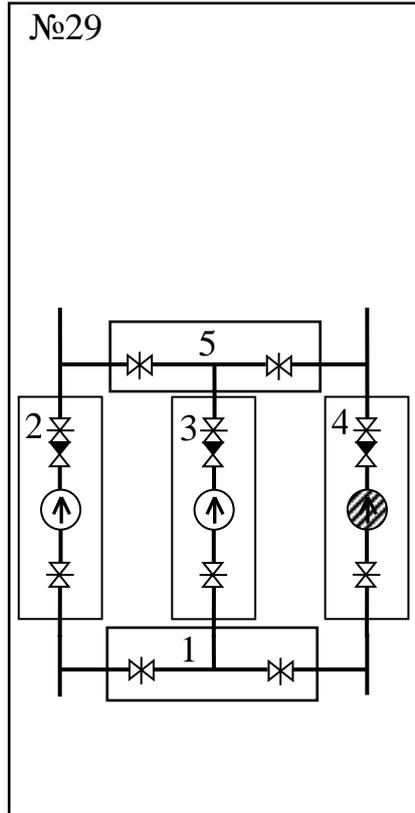
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + 2\omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K};$$

$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5} + \dots}{v_1 + v_2 + v_4 + v_5 + \dots}$$

$$\frac{\dots + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9}}{\dots + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

Закінчення додатка А.4



$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_1 = 2\omega_{3BK}; \quad \omega_5 = 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1; \quad v_2 = \omega_2(K_{П3} + K_{П4});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{П2} + K_{П4}); \quad v_5 = \omega_5;$$

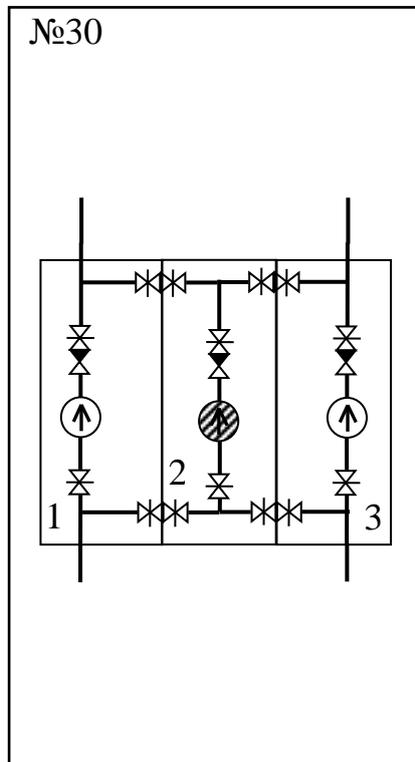
$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$

$$T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B1} = T_{B3BK}; \quad T_{B5} = T_{B3HK};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$



$$\omega_1 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{П2} + K_{П3}); \quad v_3 = \omega_3(K_{П1} + K_{П2});$$

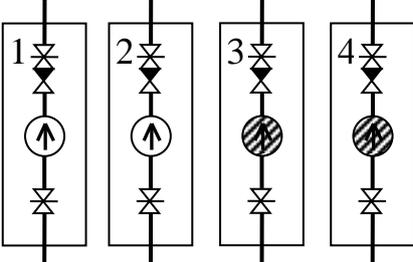
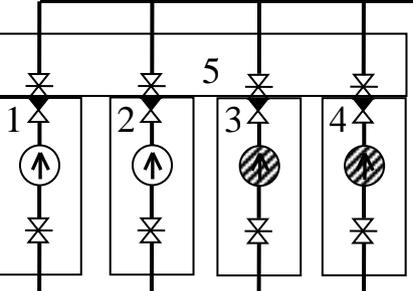
$$\omega_{HC} = v_1 + v_3; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3}.$$

$$T_{B1} = T_{B3} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B2} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + 2\omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + 2\omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_3}.$$

ДОДАТОК А.5

2-2	2 насоси робочих, 2 резервних
<p>№31</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1 (K_{п2} K_{п3} + K_{п2} K_{п4} + K_{п3} K_{п4});$ $v_2 = \omega_2 (K_{п1} K_{п3} + K_{п1} K_{п4} + K_{п3} K_{п4});$ $\omega_{nc} = v_1 + v_2; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2}.$ $T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$ $T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2}}{v_1 + v_2}.$
<p>№32</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_5 = 4\omega_{3H};$ $v_5 = 4\omega_{3H} = \omega_5; \quad \omega_{nc} = v_5;$ $T_{nc} = \frac{1}{v_5}.$ $T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B5} = T_{B3H}; \quad T_{Bnc} = T_{B5}.$

Продовження додатка А.5

№33

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_6 = 3\omega_{3H};$$

$$v_3 = \omega_3 K_{п5}; \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_6 = 2\omega_{3H} + \omega_{3HK} = \omega_6; \quad \omega_{HC} = v_3 + v_5 + v_6;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B3H};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6}}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

№34

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_6 = 4\omega_{3H};$$

$$v_3 = \omega_3 K_{п5}; \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_6 = 2\omega_{3H} + 2\omega_{3HK} = \omega_6; \quad \omega_{HC} = v_3 + v_5 + v_6;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

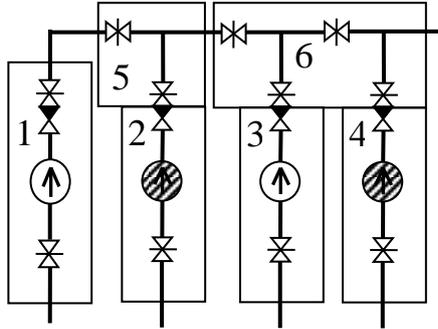
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B3H};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6}}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

Продовження додатка А.5

№35



$$\omega_1 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_6 = 4\omega_{3H};$$

$$v_3 = \omega_3 K_{п5}; \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_6 = 2\omega_{3H} + 2\omega_{3HK} = \omega_6; \quad \omega_{HC} = v_3 + v_5 + v_6;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

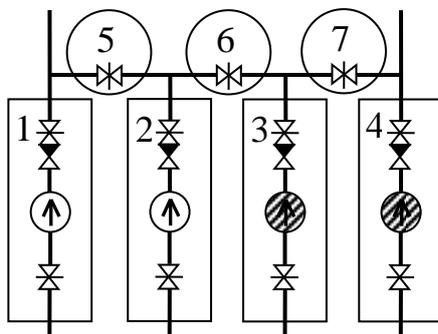
$$T_{B1} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B3H};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6}}{v_3 + v_5 + v_6}.$$

№36



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_{3HK}; \quad v_1 = \omega_1 (K_{п6} + K_{п7});$$

$$v_2 = \omega_2 (K_{п5} + K_{п7}); \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п7});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п1} + K_{п4}); \quad v_7 = \omega_7 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п5});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_5 + v_6 + v_7;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_5 + v_6 + v_7}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} =$$

$$= T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B3HK};$$

$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_1 + v_2 + v_5 + v_6 + v_7}.$$

Продовження додатка А.5

№37

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = \omega_6 = 2\omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{п6}; \quad v_3 = \omega_3 K_{п5}; \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п6});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п5}); \quad \omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_5 + v_6;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_5 + v_6}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6}}{v_1 + v_3 + v_5 + v_6}.$$

№38

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = \omega_6 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_7 = \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 K_{п6}; \quad v_3 = \omega_3 K_{п5}; \quad v_5 = \omega_5 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п6});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п5}); \quad v_7 = \omega_7;$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7}.$$

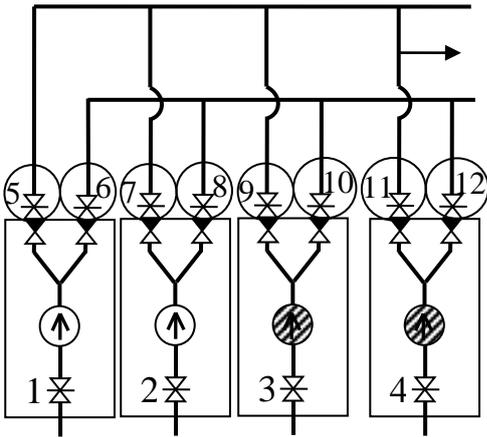
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B3H}; \quad T_{B7} = T_{B3HK};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_1 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7}.$$

Продовження додатка А.5

№41



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K;$$

$$\omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{10} = \omega_{11} = \omega_{12} = \omega_{3H};$$

$$v_5 = \omega_5(K_{п8} + K_{п10} + K_{п12});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{п7} + K_{п9} + K_{п11});$$

$$v_7 = \omega_7(K_{п6} + K_{п10} + K_{п12});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{п5} + K_{п9} + K_{п11});$$

$$v_9 = \omega_9(K_{п6} + K_{п8} + K_{п12});$$

$$v_{10} = \omega_{10}(K_{п5} + K_{п7} + K_{п11});$$

$$v_{11} = \omega_{11}(K_{п6} + K_{п8} + K_{п10});$$

$$v_{12} = \omega_{12}(K_{п5} + K_{п7} + K_{п9});$$

$$\omega_{nc} = v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12};$$

$$T_{nc} = \frac{1}{v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12}}.$$

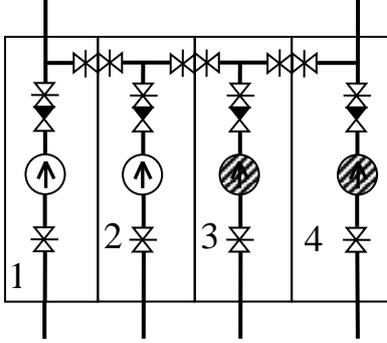
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + 2\omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B10} = T_{B11} = T_{B12} = T_{B3H};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9} + \dots}{v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + \dots} \\ \frac{\dots + v_{10} T_{B10} + v_{11} T_{B11} + v_{12} T_{B12}}{\dots + v_{10} + v_{11} + v_{12}}.$$

Продовження додатка А.5

№42



$$\omega_1 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{П3} + K_{П4});$$

$$v_2 = \omega_2 K_{П4};$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2}.$$

$$T_{B1} = T_{B4} =$$

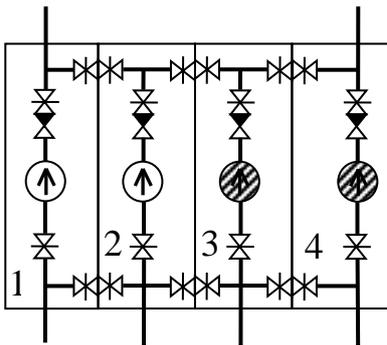
$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B2} = T_{B3} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + 2\omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2}}{v_1 + v_2}.$$

№43



$$\omega_1 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{П3} + K_{П4});$$

$$v_2 = \omega_2 K_{П4}; \quad \omega_{HC} = v_1 + v_2; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2}.$$

$$T_{B1} = T_{B4} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

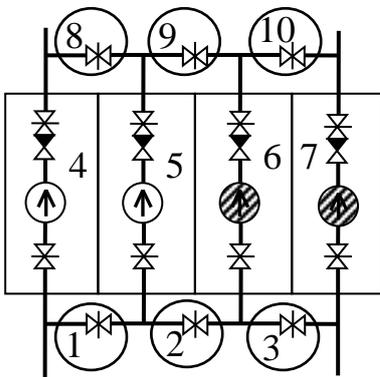
$$T_{B2} = T_{B3} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + 2\omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + 2\omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2}}{v_1 + v_2}.$$

Закінчення додатка А.5

№44



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{3BK};$$

$$\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_8 = \omega_9 = \omega_{10} = \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 (K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n9} + K_{n10});$$

$$v_2 = \omega_2 (K_{n4} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n10});$$

$$v_3 = \omega_3 (K_{n1} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n8} + K_{n9});$$

$$v_4 = \omega_4 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n7} + K_{n9} + K_{n10});$$

$$v_5 = \omega_5 (K_{n3} + K_{n7} + K_{n10});$$

$$v_8 = \omega_8 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n10});$$

$$v_9 = \omega_9 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n7});$$

$$v_{10} = \omega_{10} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n8});$$

$$\omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_8 + v_9 + v_{10};$$

$$T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_8 + v_9 + v_{10}}.$$

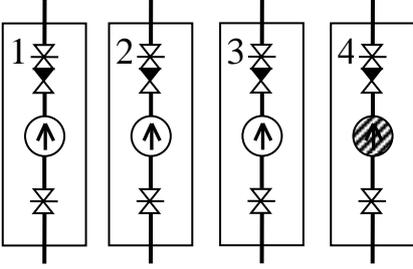
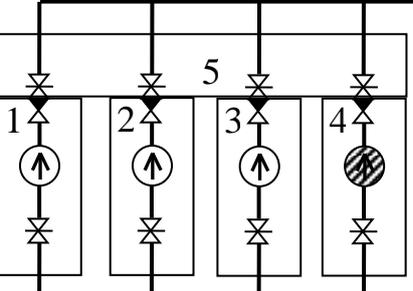
$$T_{B4} = T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B3BK}; \quad T_{B8} = T_{B9} = T_{B10} = T_{B3HK};$$

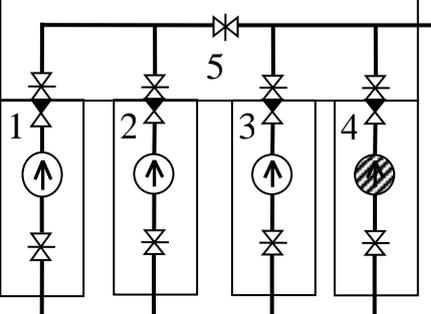
$$T_{B_{nc}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_4 T_{B4} + v_5 T_{B5} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + \dots} \\ \frac{\dots + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9} + v_{10} T_{B10}}{\dots + v_8 + v_9 + v_{10}}.$$

ДОДАТОК А.6

3-1	3 насоси робочих, 1 резервний
<p>№45</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4});$ $v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4});$ $v_3 = \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4});$ $\omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_3; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3}.$
<p>№46</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_5 = 4\omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4});$ $v_3 = \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad v_5 = 4\omega_{3H} = \omega_5;$ $\omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$
	$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$ $T_{B5} = T_{B3H}; \quad T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$

Продовження додатка А.6

№47



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = 5\omega_{3H}; \quad v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad v_5 = \omega_5;$$

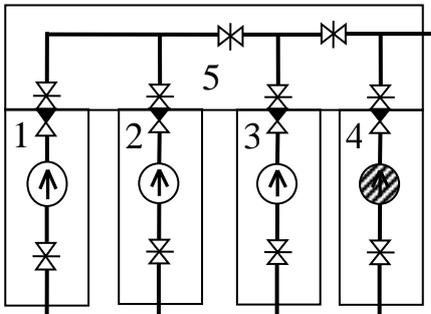
$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$

№48



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = 6\omega_{3H}; \quad v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad v_5 = \omega_5;$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$

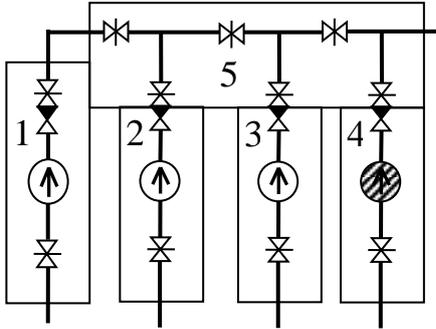
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$$

Продовження додатка А.6

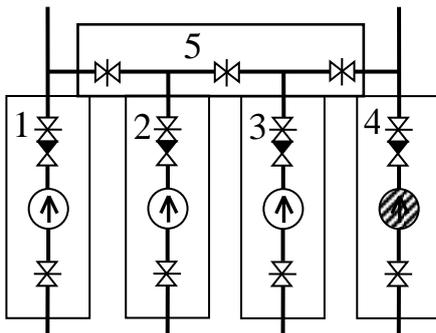
№49



$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \\ \omega_2 &= \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_5 = 6\omega_{3H}; \\ v_1 &= \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4}); \\ v_2 &= \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4}); \\ v_3 &= \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad v_5 = \omega_5; \\ \omega_{HC} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_5; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B1} &= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{B2} &= T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K}; \\ T_{B5} &= T_{B3H}; \\ T_{BHC} &= \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.\end{aligned}$$

№50

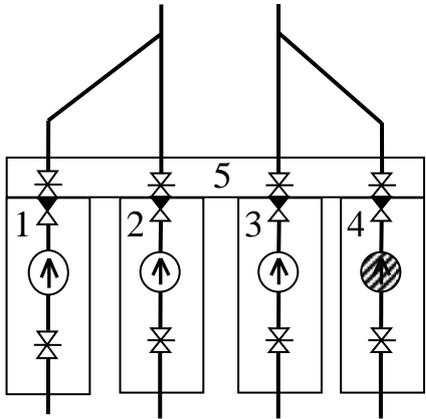


$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \\ \omega_5 &= 3\omega_{3HK}; \quad v_1 = \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4}); \\ v_2 &= \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4}); \\ v_3 &= \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad v_5 = \omega_5; \\ \omega_{HC} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_5; \\ T_{HC} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B1} &= T_{B2} = T_{B3} = \\ &= T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{B5} &= T_{B3HK}; \\ T_{BHC} &= \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.\end{aligned}$$

Продовження додатка А.6

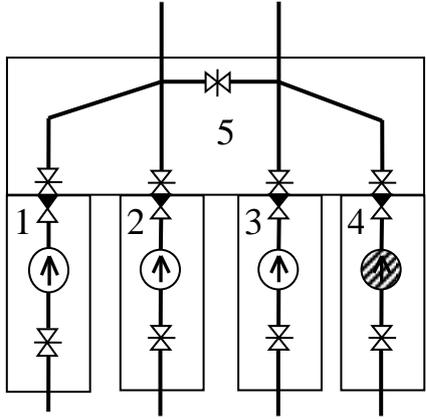
№51



$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_5 = 4\omega_{3H};$
 $v_1 = \omega_1(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4}); \quad v_2 = \omega_2(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4});$
 $v_3 = \omega_3(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_2} + K_{\Pi_4}); \quad v_5 = \omega_5;$
 $\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5;$
 $T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$

$T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} = T_{B_4} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$
 $T_{B_5} = T_{B_{3H}};$
 $T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_5 T_{B_5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$

№52

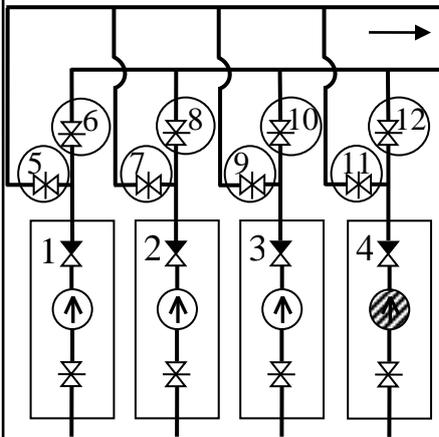


$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$
 $\omega_5 = 4\omega_{3H} + \omega_{3HK}; \quad v_1 = \omega_1(K_{\Pi_2} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4});$
 $v_2 = \omega_2(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4});$
 $v_3 = \omega_3(K_{\Pi_1} + K_{\Pi_2} + K_{\Pi_4}); \quad v_5 = \omega_5;$
 $\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5;$
 $T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$

$T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_3} = T_{B_4} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$
 $T_{B_5} = \frac{4\omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{4\omega_{3H} + \omega_{3HK}};$
 $T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_5 T_{B_5}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5}.$

Продовження додатка А.6

№53



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{10} = \omega_{11} = \omega_{12} = \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n10} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_2 = \omega_2 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n9} + K_{n10} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_3 = \omega_3 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_5 = \omega_5 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n8} + K_{n10} + K_{n12});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n7} + K_{n9} + K_{n11});$$

$$v_7 = \omega_7 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n6} + K_{n10} + K_{n12});$$

$$v_8 = \omega_8 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n9} + K_{n11});$$

$$v_9 = \omega_9 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n6} + K_{n8} + K_{n12});$$

$$v_{10} = \omega_{10} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n7} + K_{n11});$$

$$v_{11} = \omega_{11} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n8} + K_{n10});$$

$$v_{12} = \omega_{12} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n5} + K_{n7} + K_{n9});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12};$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12}}.$$

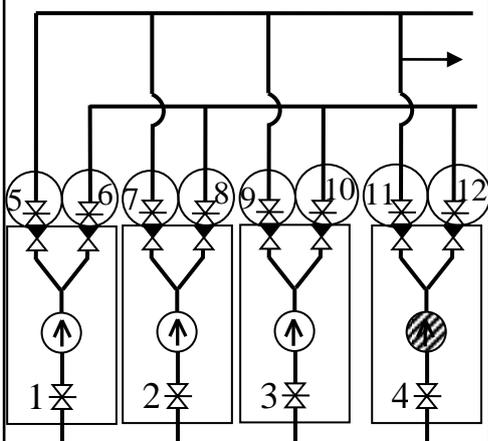
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B10} = T_{B11} = T_{B12} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + \dots} \\ \dots + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9} + v_{10} T_{B10} + v_{11} T_{B11} + v_{12} T_{B12} \\ \dots + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12}.$$

Продовження додатка А.6

№54



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K;$$

$$\omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{10} = \omega_{11} = \omega_{12} = \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n10} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_2 = \omega_2 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n9} + K_{n10} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_3 = \omega_3 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n11} + K_{n12});$$

$$v_5 = \omega_5 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n8} + K_{n10} + K_{n12});$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{n2} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n7} + K_{n9} + K_{n11});$$

$$v_7 = \omega_7 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n6} + K_{n10} + K_{n12});$$

$$v_8 = \omega_8 (K_{n1} + K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n9} + K_{n11});$$

$$v_9 = \omega_9 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n6} + K_{n8} + K_{n12});$$

$$v_{10} = \omega_{10} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n7} + K_{n11});$$

$$v_{11} = \omega_{11} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n8} + K_{n10});$$

$$v_{12} = \omega_{12} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n5} + K_{n7} + K_{n9});$$

$$\omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12};$$

$$T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12}}.$$

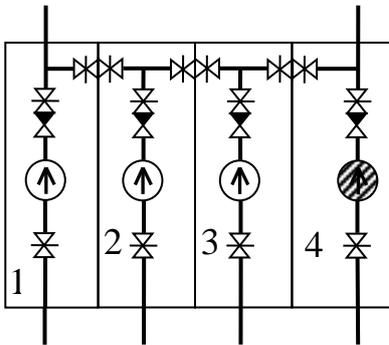
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + 2\omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + 2\omega_K};$$

$$T_{B5} = T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B10} = T_{B11} = T_{B12} = T_{B3H};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_5 T_{B5} + v_6 T_{B6} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_5 + v_6 + \dots} \\ \dots + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9} + v_{10} T_{B10} + v_{11} T_{B11} + v_{12} T_{B12} \\ \dots + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12}}.$$

Продовження додатка А.6

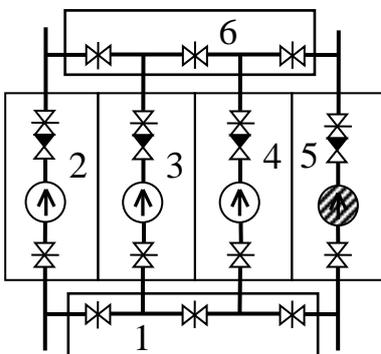
№55



$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}; \\ \omega_2 &= \omega_3 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}; \\ v_1 &= \omega_1(K_{п2} + K_{п3} + K_{п4}); \quad v_2 = \omega_2(K_{п1} + K_{п3} + K_{п4}); \\ v_3 &= \omega_3(K_{п1} + K_{п2} + K_{п4}); \quad \omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3; \\ T_{HC} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B1} &= T_{B4} = \\ &= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}}; \\ T_{B2} &= T_{B3} = \\ &= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H} + 2\omega_{3HK} T_{B3HK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}}; \\ T_{BHC} &= \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_2 + v_3}.\end{aligned}$$

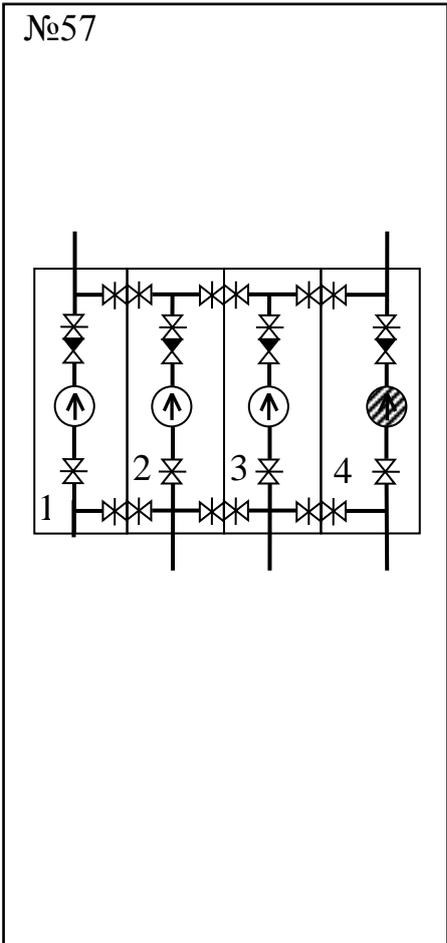
№56



$$\begin{aligned}\omega_2 &= \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \\ \omega_1 &= 3\omega_{3BK}; \quad \omega_6 = 3\omega_{3HK}; \quad v_1 = \omega_1; \\ v_2 &= \omega_2(K_{п3} + K_{п4} + K_{п5}); \quad v_3 = \omega_3(K_{п2} + K_{п4} + K_{п5}); \\ v_4 &= \omega_4(K_{п2} + K_{п3} + K_{п5}); \quad v_6 = \omega_6; \\ \omega_{HC} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_6; \\ T_{HC} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_6}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B1} &= T_{B3BK}; \quad T_{B6} = T_{B3HK}; \\ T_{B2} &= T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} = \\ &= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{BHC} &= \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_4 T_{B4} + v_6 T_{B6}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_6}.\end{aligned}$$

Закінчення додатка А.6



$$\omega_1 = \omega_4 = \omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1 (K_{\Pi_2} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4});$$

$$v_2 = \omega_2 (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_3} + K_{\Pi_4});$$

$$v_3 = \omega_3 (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_2} + K_{\Pi_4}); \quad \omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3}.$$

$$T_{B_1} = T_{B_4} =$$

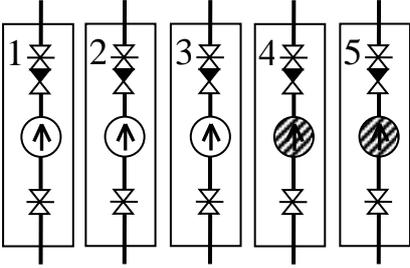
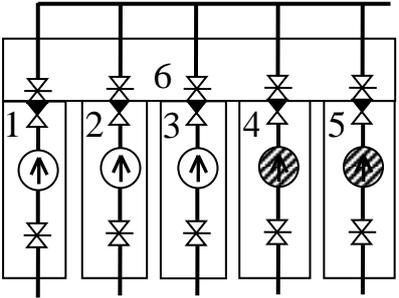
$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_{3BK} T_{B_{3BK}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B_2} = T_{B_3} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + 2\omega_{3BK} T_{B_{3BK}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + 2\omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + 2\omega_{3BK} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}};$$

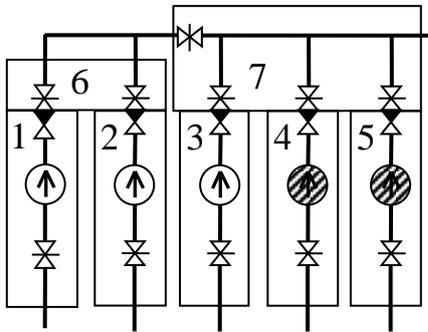
$$T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3}}{v_1 + v_2 + v_3}.$$

ДОДАТОК А.7

3-2	3 насоси робочих, 2 резервних
<p>№58</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$ $v_1 = \omega_1 (K_{п2} K_{п3} + K_{п2} K_{п4} + K_{п2} K_{п5} + K_{п3} K_{п4} + K_{п3} K_{п5} + K_{п4} K_{п5});$ $v_2 = \omega_2 (K_{п1} K_{п3} + K_{п1} K_{п4} + K_{п1} K_{п5} + K_{п3} K_{п4} + K_{п3} K_{п5} + K_{п4} K_{п5});$ $v_3 = \omega_3 (K_{п1} K_{п2} + K_{п1} K_{п4} + K_{п1} K_{п5} + K_{п2} K_{п4} + K_{п2} K_{п5} + K_{п4} K_{п5});$ $\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3}.$
	$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} =$ $= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$ $T_{B_{HC}} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3}}{v_1 + v_2 + v_3}.$
<p>№59</p> 	$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_6 = 5\omega_{3H};$ $v_6 = 5\omega_{3H} = \omega_6; \quad \omega_{HC} = v_6; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_6}.$
	$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} =$ $= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$ $T_{B_6} = T_{B_{3H}}; \quad T_{B_{HC}} = T_{B_6}.$

Продовження додатка А.7

№60



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_6 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_7 = 4\omega_{3H}; \quad v_3 = \omega_3 K_{п6};$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5}); \quad v_7 = \omega_7;$$

$$\omega_{HC} = v_3 + v_6 + v_7; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

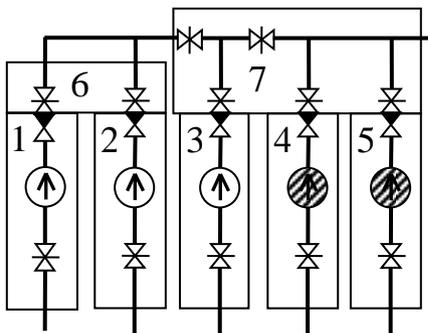
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B6} = T_{B7} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

№61



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_6 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_7 = 5\omega_{3H}; \quad v_3 = \omega_3 K_{п6};$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5}); \quad v_7 = \omega_7;$$

$$\omega_{HC} = v_3 + v_6 + v_7; \quad T_{HC} = \frac{1}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} =$$

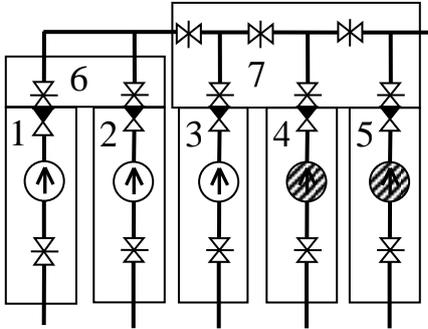
$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B6} = T_{B7} = T_{B3H};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

Продовження додатка А.7

№62



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_6 = 2\omega_{3H}; \quad \omega_7 = 6\omega_{3H}; \quad v_3 = \omega_3 K_{п6};$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5}); \quad v_7 = \omega_7;$$

$$\omega_{nc} = v_3 + v_6 + v_7; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

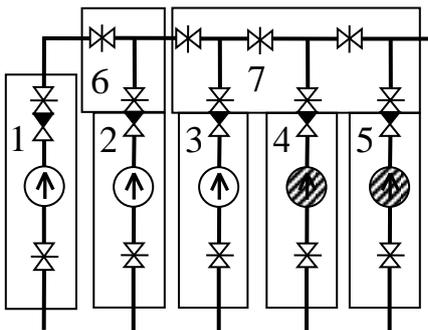
$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} =$$

$$= \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B6} = T_{B7} = T_{B3H};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

№63



$$\omega_1 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \quad \omega_6 = 2\omega_{3H};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \quad \omega_7 = 6\omega_{3H};$$

$$v_6 = \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5}); \quad v_7 = \omega_7; \quad v_3 = \omega_3 K_{п6};$$

$$\omega_{nc} = v_3 + v_6 + v_7; \quad T_{nc} = \frac{1}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

$$T_{B1} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

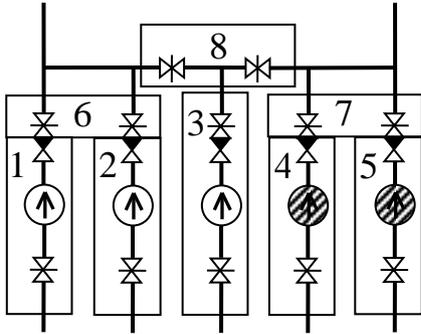
$$T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B6} = T_{B7} = T_{B3H};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + v_7 T_{B7}}{v_3 + v_6 + v_7}.$$

Продовження додатка А.7

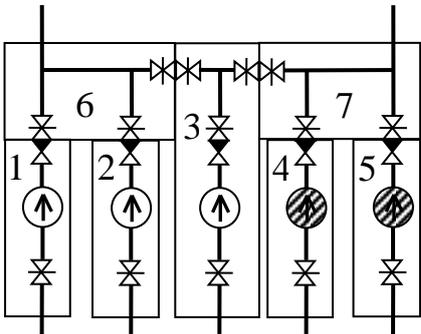
№64



$$\begin{aligned}\omega_3 &= \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; & \omega_6 &= \omega_7 = 2\omega_{3H}; \\ \omega_1 &= \omega_2 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; & \omega_8 &= 2\omega_{3HK}; \\ v_1 &= \omega_1 K_{п7}; & v_2 &= \omega_2 K_{п7}; & v_3 &= \omega_3 (K_{п6} + K_{п7}); \\ v_6 &= \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п7}); \\ v_7 &= \omega_7 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6}); & v_8 &= \omega_8; \\ \omega_{nc} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8; \\ T_{nc} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B_3} &= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_4} = T_{B_5} &= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K}; \\ T_{B_6} = T_{B_7} = T_{B_{3H}}; & T_{B_8} = T_{B_{3HK}}; \\ T_{B_{nc}} &= \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_6 T_{B_6} + v_7 T_{B_7} + v_8 T_{B_8}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8}.\end{aligned}$$

№65

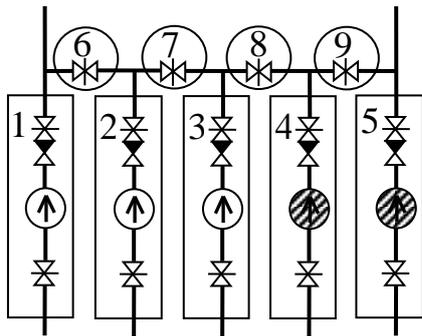


$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_2 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K; \\ \omega_3 &= \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}; \\ \omega_6 &= \omega_7 = 2\omega_{3H} + \omega_{3HK}; & v_1 &= \omega_1 K_{п7}; & v_2 &= \omega_2 K_{п7}; \\ v_3 &= \omega_3 (K_{п6} + K_{п7}); & v_6 &= \omega_6 (K_{п3} + K_{п7}); \\ v_7 &= \omega_7 (K_{п3} + K_{п6}); & \omega_{nc} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7; \\ T_{nc} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{B_3} &= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}} + 2\omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H} + 2\omega_{3HK}}; \\ T_{B_1} = T_{B_2} = T_{B_4} = T_{B_5} &= \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K}; \\ T_{B_6} = T_{B_7} &= \frac{2\omega_{3H} T_{B_{3H}} + \omega_{3HK} T_{B_{3HK}}}{2\omega_{3H} + \omega_{3HK}}; \\ T_{B_{nc}} &= \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_6 T_{B_6} + v_7 T_{B_7}}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7}.\end{aligned}$$

Продовження додатка А.7

№66



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H};$$

$$\omega_6 = \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3HK};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п7} + K_{п8} + K_{п9});$$

$$v_2 = \omega_2(K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п9});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{п1} + K_{п5} + K_{п6} + K_{п9});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п9});$$

$$v_7 = \omega_7(K_{п1} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п9});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{п1} + K_{п2} + K_{п5} + K_{п6});$$

$$v_9 = \omega_9(K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6} + K_{п7});$$

$$\omega_{HC} = v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9;$$

$$T_{HC} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} =$$

$$= T_{B5} = \frac{\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}};$$

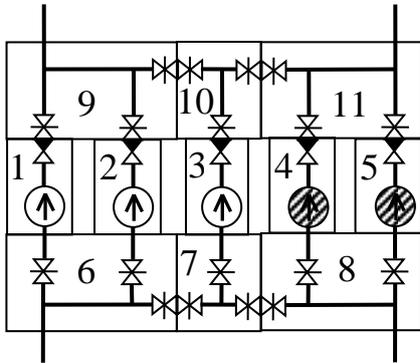
$$T_{B6} = T_{B7} = T_{B8} = T_{B9} = T_{B3HK};$$

$$T_{BHC} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + \dots}$$

$$\frac{\dots + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9}}{\dots + v_7 + v_8 + v_9}.$$

Продовження додатка А.7

№67



$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_H + \omega_K;$$

$$\omega_6 = \omega_8 = \omega_{3BK} + 2\omega_{3B}; \quad \omega_7 = 2\omega_{3BK} + \omega_{3B};$$

$$\omega_9 = \omega_{11} = \omega_{3HK} + 2\omega_{3H}; \quad \omega_{10} = 2\omega_{3HK} + \omega_{3H};$$

$$v_1 = \omega_1(K_{п7} + K_{п8} + K_{п10} + K_{п11});$$

$$v_2 = \omega_2(K_{п7} + K_{п8} + K_{п10} + K_{п11}); \quad v_7 = \omega_7(K_{п9} + K_{п11});$$

$$v_3 = \omega_3(K_{п6} + K_{п8} + K_{п9} + K_{п11}); \quad v_{10} = \omega_{10}(K_{п6} + K_{п8});$$

$$v_6 = \omega_6(K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п10} + K_{п11});$$

$$v_8 = \omega_8(K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6} + K_{п9} + K_{п10});$$

$$v_9 = \omega_9(K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п7} + K_{п8} + K_{п11});$$

$$v_{11} = \omega_{11}(K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6} + K_{п7} + K_{п9});$$

$$\omega_{nc} = v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11};$$

$$T_{nc} = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11}}.$$

$$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5} = \frac{\omega_H T_{BH} + \omega_K T_{BK}}{\omega_H + \omega_K};$$

$$T_{B6} = T_{B8} = \frac{2\omega_{3B} T_{B3B} + \omega_{3BK} T_{B3BK}}{2\omega_{3B} + \omega_{3BK}};$$

$$T_{B7} = \frac{2\omega_{3BK} T_{B3BK} + \omega_{3B} T_{B3B}}{2\omega_{3BK} + \omega_{3B}};$$

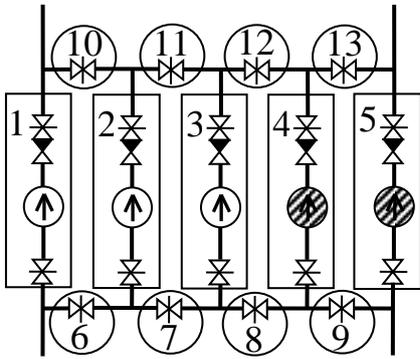
$$T_{B9} = T_{B11} = \frac{2\omega_{3H} T_{B3H} + \omega_{3HK} T_{B3HK}}{2\omega_{3H} + \omega_{3HK}};$$

$$T_{B10} = \frac{2\omega_{3HK} T_{B3HK} + \omega_{3H} T_{B3H}}{2\omega_{3HK} + \omega_{3H}};$$

$$T_{Bnc} = \frac{v_1 T_{B1} + v_2 T_{B2} + v_3 T_{B3} + v_6 T_{B6} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + \dots} \\ \frac{\dots + v_7 T_{B7} + v_8 T_{B8} + v_9 T_{B9} + v_{10} T_{B10} + v_{11} T_{B11}}{\dots + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11}}.$$

Продовження додатка А.7

№68

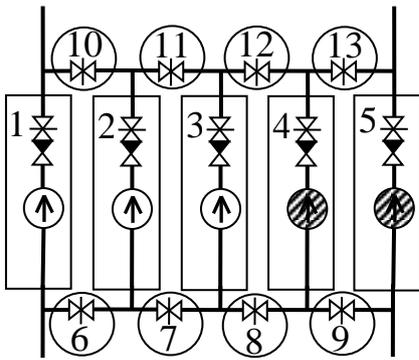


$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \\ \omega_6 &= \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3BK}; \quad \omega_{10} = \omega_{11} = \omega_{12} = \omega_{13} = \omega_{3HK}; \\ v_1 &= \omega_1 (K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n7} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n11} + K_{n12} + K_{n13}); \\ v_2 &= \omega_2 (K_{n4} + K_{n5} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n12} + K_{n13}); \\ v_3 &= \omega_3 (K_{n1} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n9} + K_{n10} + K_{n13}); \\ v_6 &= \omega_6 (K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n12} + K_{n13}); \\ v_7 &= \omega_7 (K_{n1} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n9} + K_{n13}); \\ v_8 &= \omega_8 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n10}); \\ v_9 &= \omega_9 (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n10} + K_{n11}); \\ v_{10} &= \omega_{10} (K_{n3} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n8} + K_{n9} + K_{n12} + K_{n13}); \\ v_{11} &= \omega_{11} (K_{n1} + K_{n4} + K_{n5} + K_{n9} + K_{n13}); \\ v_{12} &= \omega_{12} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n5} + K_{n6} + K_{n10}); \\ v_{13} &= \omega_{13} (K_{n1} + K_{n2} + K_{n3} + K_{n6} + K_{n7} + K_{n10} + K_{n11}); \\ \omega_{nc} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}; \\ T_{nc} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{B_1} &= T_{B_2} = T_{B_3} = T_{B_4} = \\ &= T_{B_5} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{B_6} &= T_{B_7} = T_{B_8} = T_{B_9} = T_{B_{3BK}}; \\ T_{B_{10}} &= T_{B_{11}} = T_{B_{12}} = T_{B_{13}} = T_{B_{3HK}}; \\ T_{B_{nc}} &= \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_6 T_{B_6} + v_7 T_{B_7} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + \dots} \\ &= \frac{\dots + v_8 T_{B_8} + v_9 T_{B_9} + v_{10} T_{B_{10}} + v_{11} T_{B_{11}} + v_{12} T_{B_{12}} + v_{13} T_{B_{13}}}{\dots + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}}. \end{aligned}$$

Продовження додатка А.7

№69



$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}; \\ \omega_6 &= \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{3BK}; \quad \omega_{10} = \omega_{11} = \omega_{12} = \omega_{13} = \omega_{3HK}; \\ v_1 &= \omega_1 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п7} + K_{п8} + K_{п9} + K_{п11} + K_{п12} + K_{п13}); \\ v_2 &= \omega_2 (K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п9} + K_{п12} + K_{п13}); \\ v_3 &= \omega_3 (K_{п1} + K_{п5} + K_{п6} + K_{п9} + K_{п10} + K_{п13}); \\ v_6 &= \omega_6 (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п9} + K_{п12} + K_{п13}); \\ v_7 &= \omega_7 (K_{п1} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п9} + K_{п13}); \\ v_8 &= \omega_8 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п5} + K_{п6} + K_{п10}); \\ v_9 &= \omega_9 (K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6} + K_{п7} + K_{п10} + K_{п11}); \\ v_{10} &= \omega_{10} (K_{п3} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п8} + K_{п9} + K_{п12} + K_{п13}); \\ v_{11} &= \omega_{11} (K_{п1} + K_{п4} + K_{п5} + K_{п9} + K_{п13}); \\ v_{12} &= \omega_{12} (K_{п1} + K_{п2} + K_{п5} + K_{п6} + K_{п10}); \\ v_{13} &= \omega_{13} (K_{п1} + K_{п2} + K_{п3} + K_{п6} + K_{п7} + K_{п10} + K_{п11}); \\ \omega_{nc} &= v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}; \\ T_{nc} &= \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{B_1} &= T_{B_2} = T_{B_3} = T_{B_4} = \\ &= T_{B_5} = \frac{\omega_{3B} T_{B_{3B}} + \omega_H T_{B_H} + \omega_K T_{B_K} + \omega_{3H} T_{B_{3H}}}{\omega_{3B} + \omega_H + \omega_K + \omega_{3H}}; \\ T_{B_6} &= T_{B_7} = T_{B_8} = T_{B_9} = T_{B_{3BK}}; \\ T_{B_{10}} &= T_{B_{11}} = T_{B_{12}} = T_{B_{13}} = T_{B_{3HK}}; \\ T_{B_{nc}} &= \frac{v_1 T_{B_1} + v_2 T_{B_2} + v_3 T_{B_3} + v_6 T_{B_6} + v_7 T_{B_7} + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + v_6 + v_7 + \dots} \\ &= \frac{\dots + v_8 T_{B_8} + v_9 T_{B_9} + v_{10} T_{B_{10}} + v_{11} T_{B_{11}} + v_{12} T_{B_{12}} + v_{13} T_{B_{13}}}{\dots + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13}}. \end{aligned}$$

Навчальне видання

Новохатній Валерій Гаврилович

професор кафедри гідравліки, водопостачання та водовідведення,
д.т.н., професор

Костенко Сергій Олександрович

ст. викладач кафедри гідравліки, водопостачання та водовідведення, к.т.н.

Матяш Олександр Васильович

доцент кафедри гідравліки, водопостачання та водовідведення, к.т.н.

НАДІЙНІСТЬ ВОДОПОСТАЧАННЯ МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Комп'ютерна верстка С.О. Костенка
Друкується в авторській редакції

Друк RISO

4,25 друк. аркушів

Тираж 35 екз.

Поліграфцентр

Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка

36601, м. Полтава, Першотравневий просп., 24

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції

Серія ДК № 3130 від 06.03.2008

Віддруковано з оригінал-макета поліграфцентру ПолтНТУ