МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: **«КОМПЛЕКСНИЙ РОЗРАХУНОК НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО ПІДЙОМУ ДЛЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ»**

Виконала: студентка 4 курсу, група 6.1922-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»

Курта Ольга Миколаївна

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук _____ С.В. Ільїн

Рецензент: завідувач кафедри міського будівництва і архітектури,
кандидат технічних наук_____ А. В. Банах

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«11» 03 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Курті Ользі Миколаївні
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Комплексний розрахунок насосних станцій першого та другого підйому для мережі транспортування води
затверджено наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1832-с
2. Строк подання роботи: *25.05.2026*
3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додиток 1), опис забудови та підприємств (додаток 2).*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): *1. Теоретико-методологічні засади проєктування насосних станцій в системах міського водопостачання. 1.1Функціональна роль насосних станцій першого та другого підйому в структурі міських інженерних мереж водопостачання. 1.2. Класифікація насосного обладнання та його конструктивно-технічні характеристики для застосування у міських мережах транспортування води. 1.3. Методичні підходи до гідравлічного та енергетичного розрахунку насосних станцій в системах міських інженерних мереж. 1.4. Інноваційні підходи та сучасні технології підвищення ефективності роботи насосних станцій у міських інженерних мережах. 2.Визначення розрахункових витрат води. 2.1 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста. 2.2 Режим водоспоживання міста. 2.3 Схема транспортування води. 3. Розробка мережі транспортування води. 3.1 Трасування мережі. 3.2 Визначення розрахункових витрат по ділянках мережі та діаметрів ділянок. 3.3 Гідравлічна ув'язка водопровідної мережі. 3.4 Визначення п'єзометричних позначок та вільних тисків у вузлах мережі. 4. Розрахунок насосної станції першого підйому. 4.1 Характеристика джерела водопостачання та умов надходження води. 4.2. Розрахунок елементів водозабору. 4.3 Розрахунок руслового режиму ріки. 4.4 Вибір і обґрунтування типу водозабірних будівель. 4.5 Розрахунок грат. 4.6 Розрахунок сіток. 4.7 Розрахунок основного і допоміжного обладнання насосної станції І-го підйому. 4.8 Визначення розмірів водозабірних будівель. 4.9 Санітарна охорона водозабірних будівель. 4.10 Розрахунок регулювальних місткостей. 5.*

Розрахунок насосної станції другого підйому. 5.1 Визначення розрахункової подачі н
насосної станції II підйому. 5.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водово
Визначення розрахункового напору насосів. 5.4 Розрахунок режиму роботи насосної ст
при пожежогасінні. 5.5 Визначення позначок осі насосу і підлоги насосної станц
Визначення висоти машинного залу і підбір вантажопідйомного обладнання. ВИСНОВ
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Генплан та ситуаційний план міста. 2,3. П'єзометричні карти та п'єзометричні п
розрахункових режимів роботи мережі. 4. Насосна станція першого підйому: план та р
машинного залу. 5. Насосна станція другого підйому: план та розрізи машинного з
Насосне обладнання:конструкції, напірно-витратні графіки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ільїн С.В., к.т.н., доцент		
2	Ільїн С.В., к.т.н., доцент		
3	Ільїн С.В., к.т.н., доцент		
4	Ільїн С.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.02.2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання
1	Розділ 1. Теоретико-методологічні засади проєктування насосних станцій в системах міського водопостачання	08.03.26
2	Листи 1-2.	30.03.26
3	Розділ 2. Визначення розрахункових витрат води	10.04.26
4	Розділ 3. Розробка мережі транспортування води.	15.04.26
5	Листи 3,4.	25.04.26
	Розділ 4. Розрахунок насосної станції I підйому.Лист №4.	05.05.26
6	Розділ 4. Розрахунок насосної станції II підйому. Лист 5-6.	10.05.26
7	Презентація підготовка доповіді.	15.05.26
8	Попередній захист	22.05.26

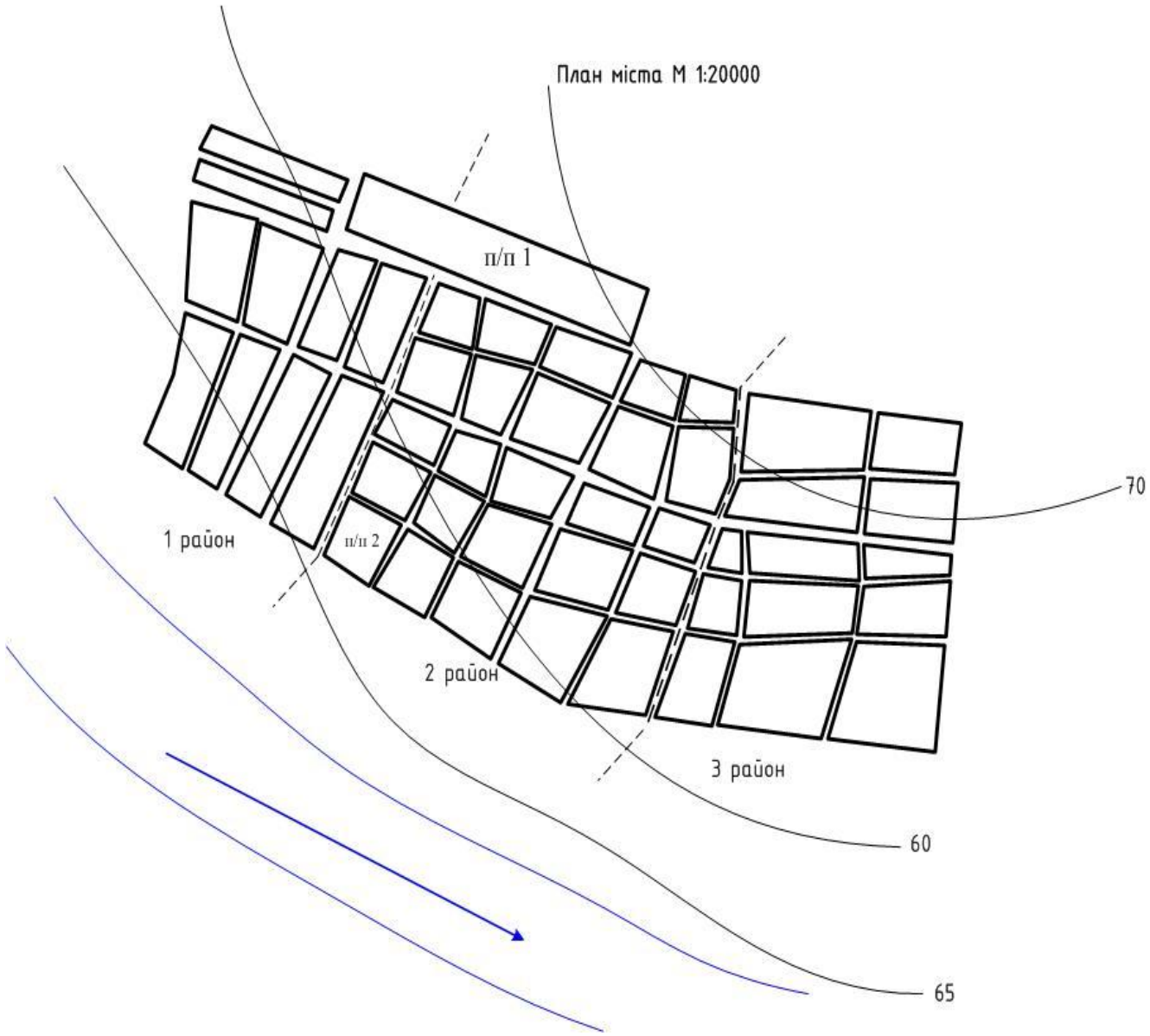
Студент _____ О.М. Курта
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ С.В. Ільїн
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Додаток 1



Додаток 2

Таблиця 1 – Короткий опис забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	9	280	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання
Другий район	5	180	внутрішній водопровід, каналізація та ванни з місцевими водонагрівачами
Третій район	9	280	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

№ підпр.	Кількість працюючих по змінах	Кількість працюючих в гар. цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Витрати води на промислов і потреби, $м^3$/доб	Ступінь вогнестійкості конструкцій
№ 1	1200 1000 900	50%	Іа, IIб	10200	I,II Б,В
№ 2	500 400	30%	Іа, Іб	500	III Д

ЗМІСТ

ВСТУП……8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ В СИСТЕМАХ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ…10
1.1.Функціональна роль насосних станцій першого та другого підйому в структурі міських інженерних мереж водопостачання…….10
1.2. Класифікація насосного обладнання та його конструктивно-технічні характеристики для застосування у міських мережах транспортування води….14
1.3. Методичні підходи до гідравлічного та енергетичного розрахунку насосних станцій у системах міських інженерних мереж……..……17
1.4. Інноваційні підходи та сучасні технології підвищення ефективності роботи насосних станцій у міських інженерних мережах……..22
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДИ……26
2.1 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста……26
2.1.1. Визначення кількості населення…….26
2.1.2 Визначення добових розрахункових витрат води міста…….27
2.2 Режим водоспоживання міста…….30
2.3 Схема транспортування води……..……33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ……..…39
3.1 Трасування мережі та обгрунтування режимів гідравлічного розрахунку….39
3.2 Визначення розрахункових витрат по ділянках мережі та діаметрів ділянок.41
3.3 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі……..
3.4 Визначення п’єзометричних позначок та вільних тисків у вузлах мережі….50
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ПЕРШОГО ПІДЙОМУ……..52
4.1 Характеристика джерела водопостачання та умов надходження води…..…52
4.2 Розрахунок річищного режиму ріки……53

4.3. Розрахунок елементів водозабору……56
4.3.1 Вибір та обґрунтування типу водозабірних будівель……..……56
4.3.2 Розрахунок огловку……..56
4.3.3 Розрахунок самопливних водоводів……57
4.3.4 Розрахунок сіток……59
4.4 Розрахунок основного і допоміжного обладнання насосної станції І-го підйому……60
4.5 Визначення розмірів водозабірних будівель……61
4.6 Санітарна охорона водозабірних будівель……63
4.7 Розрахунок регулювальних місткостей……66
4.7.1 Розрахунок резервуарів чистої води……66
4.7.2 Розрахунок місткості водонапірного баку……..…68
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ……..73
5.1 Визначення розрахункової подачі насосів насосної станції ІІ підйому …….73
5.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів……..74
5.3 Визначення розрахункового напору насосів……75
5.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні……77
5.5 Визначення позначок осі насосу і підлоги насосної станції……78
5.6 Визначення висоти машинного залу і підбір вантажопіднімального обладнання……79
5.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідіймального обладнання……..80
5.8 Аналіз режиму роботи насосів та уточнення їх робочих характеристик……81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..85
ДОДАТКИ……...…90

ВСТУП

В сучасних умовах воєнних дій та масштабної відбудови зруйнованої інфраструктури питання надійного та безперебійного водопостачання набуває особливої важливості. Тому система водопостачання повинна характеризуватися підвищеною надійністю, гнучкістю в роботі та здатністю функціонувати в аварійних і пікових режимах. Центральним елементом систем транспортування води є насосні станції першого та другого підйому, які забезпечують подачу води від джерела до очисних споруд і подальше транспортування до споживачів із необхідними витратами та тисками. Від правильності їх гідравлічного розрахунку залежить стабільність роботи всієї системи, особливо в умовах нерівномірного водоспоживання, можливих пошкоджень мереж або необхідності забезпечення пожежогасіння. Таким чином, актуальність теми полягає у необхідності комплексного розрахунку насосних станцій першого та другого підйому та мереж транспортування води з урахуванням сучасних викликів забезпечення надійного водопостачання споживачів в умовах воєнних ризиків, відновлення зруйнованої інфраструктури та підвищення енергоефективності систем міського водопостачання.

Метою роботи є виконання комплексного гідравлічного та конструктивного розрахунку насосних станцій першого та другого підйому у взаємозв’язку з розрахунком мережі транспортування води міста, з обґрунтуванням основних проєктних рішень і забезпеченням нормативних показників надійності та ефективності функціонування системи водопостачання.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

– проаналізувати теоретико-методологічні засади проєктування насосних станцій в системах міського водопостачання;

– визначити розрахункові витрати води та режим водоспоживання міста;

– розробити схему та виконати гідравлічний розрахунок мережі транспортування води;

– здійснити розрахунок насосної станції першого підйому з визначенням параметрів водозабору та регулювальних місткостей;

– виконати розрахунок насосної станції другого підйому з урахуванням режимів нормальної експлуатації та пожежогасіння;

– обґрунтувати вибір основного та допоміжного обладнання.

Об’єктом дослідження є насосні станції першого та другого підйому.

Предметом дослідження є гідравлічні, енергетичні та конструктивні параметри насосних станцій та мереж транспортування води, а також методичні підходи до їх комплексного розрахунку. Методи дослідження ґрунтуються на використанні положень гідравліки, теорії насосів і насосних установок, інженерних методик розрахунку водопровідних мереж, аналізу нормативної документації та графоаналітичних способів визначення п’єзометричних позначок і тисків у вузлах мережі. Інформаційною базою дослідження є чинні державні будівельні норми, наукові праці з проєктування систем водопостачання, довідкові матеріали з насосного обладнання та методичні рекомендації щодо розрахунку інженерних мереж.

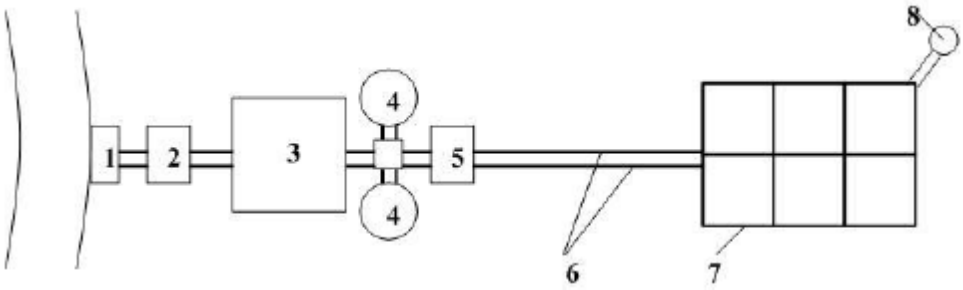
Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених розрахункових схем та прийнятих технічних рішень при проєктуванні або реконструкції систем міського водопостачання.

Основні положення та результати дослідження апробовані під час участі в міжнародній науково-практичній конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки», яка відбулась 9-10 трав. 2024 року у м. Запоріжжя [1] та ІІ Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти за напрямом, яка проходила 28–30 жовтня 2025 р. у м. Запоріжжя [2].

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ В СИСТЕМАХ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Функціональна роль насосних станцій першого та другого підйому в структурі міських інженерних мереж водопостачання

Системи міського водопостачання являють собою складну інженерну систему, що забезпечує транспортування води від джерела до кінцевих споживачів з оптимальними гідравлічними параметрами. Основними складовими таких систем є водозабірні споруди, очисні комплекси, мережі магістральних та розподільних водоводів, резервуари та насосні станції [3, с. 39]. Основні елементи системи водопостачання показані на рис.1.1. [4, с. 11].



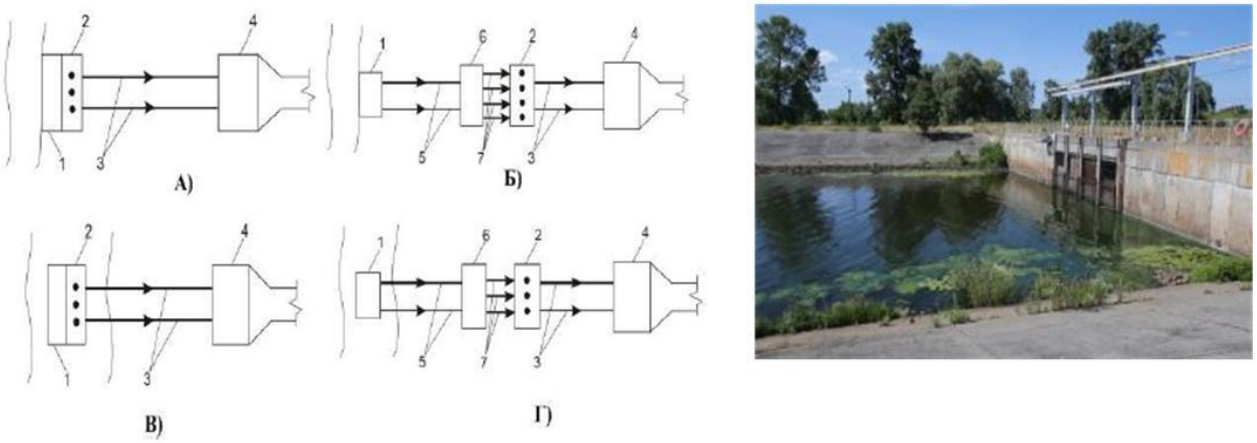
1 – водозабір, 2, 5 – насосні станції, 3 – очисні споруди, 4 – резервуари чистої води, 6 – водоводи, 7 – водопровідна мережа, 8 – водонапірна башта.

Рисунок 1.1 – Елементи системи водопостачання міста [4, с. 11]

Саме насосні станції відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної подачі води, гарантуючи необхідний тиск і подолання перепадів висот у мережі. Вони забезпечують не тільки переміщення води, але й підтримання мінімальних

вимог до тиску у всіх точках мережі за різних режимів експлуатації та навантажень.

Насосні станції поділяються на кілька категорій залежно від їх функцій у системі [5, с. 7]. Насамперед станції першого підйому відповідають за підняття води з джерела (водозабору) та подачу її до очисних споруд або до магістральних водоводів, як показано на рис.1.2 [5, с. 11].

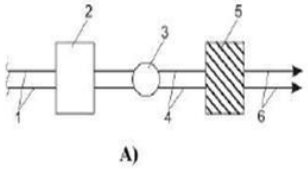


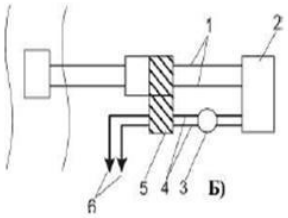
1 – водозабірна споруда; 2 – будівля насосної станції; 3 – напірні трубопроводи; 4 – водовипуск; 5 – водоводи; 6 – водоприймач; 7 – всмоктувальні труби

Рисунок 1.2 – Принципові схеми компонування насосних станцій [5, с. 11]

Цей етап є критичним, оскільки саме на першому підйомі закладаються базові гідравлічні параметри, які визначають можливість подальшого транспортування води. Прикладом такої станції може бути насосна станція водозабору з річок або підземних вод, де вода повинна бути подана під певним тиском в мережу для продовження руху до споживачів. При недостатній продуктивності або невірному виборі обладнання, на першому підйомі можуть виникати перебої в подачі води або недостатній тиск у мережі, що негативно позначається на якості обслуговування споживачів.

Станції другого підйому зазвичай розташовуються в мережі, коли необхідно подолати значні відстані або перепади висот між магістралями та районами споживання (рис.1.3) [5, с. 12].







1 – водоводи першого підйому; 2 – очисні споруди; 3 – резервуар чистої води; 4 – всмоктувальні труби; 5 – насосна станція другого підйому; 6 – напірні водоводи

Рисунок 1.3 – Схеми насосних станцій другого підйому [5, с. 12]

Вони призначені для підтримки потрібних значень тиску в розподільних мережах нижчих рівнів та забезпечення водою віддалених або верхніх стосовно джерела районів міста. Функціональне значення таких станцій полягає в тому, що вони дозволяють розширювати обслуговувану територію навіть у складних топографічних умовах та забезпечувати рівномірне розподілення води незалежно від динаміки споживання.

У сучасних умовах інтенсивного урбаністичного розвитку та зростання споживчих навантажень, значення насосних станцій в системах водопостачання ще більше посилюється. У містах з великою чисельністю населення та складною планувальною структурою саме насосні станції забезпечують стабільність подачі води за великих коливань витрат, попиту та сезонних змін. Недостатня пропускна здатність або неправильно підібрані параметри насосного обладнання можуть призвести до дефіциту тиску в мережі та зниження якості обслуговування споживачів.

Крім цього, в умовах сучасних викликів, таких як кліматичні зміни, нестабільні джерела водопостачання та воєнні дії, насосні станції повинні бути спроєктовані з урахуванням підвищених вимог до надійності та стійкості роботи. Проєктування насосних станцій повинно базуватися не лише на аналізі гідравлічних навантажень, але й на моделюванні можливих аварійних ситуацій та механізмів їх подолання. Наприклад, дослідження останніх років підкреслюють важливість урахування енергетичних кризових факторів, зміни клімату та необхідності оптимізації роботи насосів для мінімізації споживання енергії без втрати продуктивності станцій у періоди пікових навантажень чи надзвичайних ситуацій [6].

Функціональне значення насосних станцій в системах водопостачання також пов’язана з їх впливом на енергетичну ефективність та загальні експлуатаційні витрати. За даними досліджень, енергоспоживання насосних станцій становить значну частину загальних витрат на експлуатацію водопровідної мережі. Це зумовлює необхідність підходів до проєктування, які передбачають оцінку роботи насосів у різних режимах та оптимізацію їх параметрів на всіх етапах життєвого циклу об’єкта. Так, у статті [7, с.1–2] пропонується багатокритеріальний підхід до проєктування насосних станцій, який враховує технічні, економічні та екологічні аспекти для забезпечення оптимальної роботи обладнання протягом тривалого часу.

З урахуванням сучасних умов для українських міст особливо актуальними є дослідження щодо підвищення енергоефективності насосних станцій та адаптації їх до ситуацій з обмеженим доступом до ресурсів. Такі підходи можуть включати використання частотного регулювання насосних агрегатів або систем автоматичного керування для підтримання стабільного тиску при змінних витратах води. Застосування подібних методів дозволяє зменшити

енергоспоживання, знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність системи водопостачання загалом [8, с. 399].

Варто також зазначити, що функціональна роль насосних станцій включає забезпечення безпеки мережі при позаштатних ситуаціях, таких як пожежогасіння чи аварійні зупинки окремих ділянок мережі. Станції першого та другого підйомів часто передбачають резервні лінії обладнання, аварійні генератори живлення та системи автоматичного перемикання, що дозволяє підтримувати функціонування системи незалежно від зовнішніх умов.

Таким чином, насосні станції першого та другого підйому є невіддільною частиною міських систем водопостачання. Вони виконують не лише транспортну функцію, але й забезпечують стабільність, надійність та енергоефективність роботи всієї мережі. Підвищення вимог до їх проєктування та експлуатації зумовлене забезпеченням безперервного функціонування насосних станцій систем водопостачання та водовідведення в екстремальних умовах, підвищення безпеки та захисту насосних станцій, розробка систем екстреного реагування та кризового управління [9, с. 270].

1.2. Класифікація насосного обладнання та його конструктивно-технічні характеристики для застосування у міських мережах транспортування води

Питання вибору насосного обладнання займає центральне місце в процесі проєктування систем водопостачання міських населених пунктів. Насоси виступають ключовими елементами мережі, що визначають її технічні можливості щодо забезпечення потрібного тиску та подачі на всіх ділянках. Від правильної класифікації і характеристики насосів залежить не лише надійність і

ефективність роботи системи, а й її експлуатаційні витрати, енергоефективність та тривалість служби обладнання.

В загальному вигляді насосне обладнання для систем водопостачання можна класифікувати за фізичним принципом дії, за конструктивними особливостями, за призначенням у мережі та за умовами експлуатації. За фізичним принципом роботи насоси поділяються на відцентрові (динамічні**)** та об'ємні (пластинчасті, шестеренні тощо) [10, с. 14]**.** У міських водопровідних мережах домінантним типом є відцентрові насоси, оскільки саме вони забезпечують найбільш прийнятне поєднання продуктивності, напору та експлуатаційної надійності для подачі значних обсягів води на великі відстані та висоти. Відцентрові насоси діють шляхом передачі кінетичної енергії рідині робочим колесом насоса, що дозволяє ефективно перекачувати великі витрати води. Для відцентрових насосів головною умовою надійної експлуатації є не перевищення допустимого кавітаційного запасу [11, с. 174].

За конструктивним виконанням відцентрові насоси можуть мати різну форму робочого колеса (закрите, напівзакрите, відкрите лопатне) та розташування осі насоса (горизонтальне чи вертикальне). Закриті робочі колеса зазвичай досягають вищої гідравлічної ефективності, але вони більш чутливі до забруднень у воді, що може обмежувати їх застосування в мережах з погіршеною якістю води. Напівзакриті та відкриті колеса мають менший ККД, але краще працюють при наявності дрібних твердих частинок у рідині, що може бути важливим при перекачуванні води із відкритих джерел чи після очищення.

Іншим аспектом класифікації є поділ насосів за призначенням у мережі**.** У централізованих мережах водопостачання виділяють насоси першого підйому, які приймають воду безпосередньо з джерела (наприклад, зі свердловини або річки) та подають її в систему очисних споруд або безпосередньо у магістральні водоводи. Далі можуть розташовуватися насоси другого (і наступних) підйомів,

що підтримують необхідний тиск у розподільних мережах для забезпечення водоспоживання на віддалених ділянках або в районах із великими перепадами висот. Така класифікація обладнання за функціями у мережі дозволяє проєктувальникам правильно визначати типи насосів та їх робочі характеристики відповідно до гідравлічних умов конкретної ділянки мережі [12, с. 11].

Застосовуються конструкції насосів із різними характеристиками двигунів та систем керування. Традиційно в мережах водопостачання використовуються насоси з асинхронними електродвигунами постійної швидкості**,** які працюють у базовому режимі з постійними обертами. Проте сучасні тенденції проєктування передбачають широке застосування насосних агрегатів із частотними перетворювачами, що дозволяють змінювати швидкість обертання робочого колеса відповідно до поточних вимог до подачі [13, с. 91]. Це забезпечує значну економію енергії та підвищення керованості процесу перекачування води, особливо при змінних добових чи сезонних навантаженнях.

Крім того, насосне обладнання може класифікуватися залежно від конструктивних елементів, що впливають на його технічні характеристики [10, с. 15]:

- одноступеневі та багатоступеневі насоси: перші здатні забезпечувати великі витрати при відносно невеликому напорі, тоді як багатоступеневі моделі створюють значно більші напори при тих самих витратах;
- горизонтальне та вертикальне розміщення валу: вертикальні насоси часто застосовують у умовах обмеженого простору або при роботі з великою глибиною водозабору;
- корозійностійкі та зносостійкі матеріали: важливо для довговічної експлуатації у разі присутності у воді солей, абразивних частинок або підвищеної кислотності.

При розгляді насосного обладнання для міських мереж водопостачання необхідно враховується й енергоефективність обладнання. В умовах воєнних дій та економічних викликів, які суттєво загострюють питання споживання електроенергії, ефективність насосів стає особливо критичним параметром. Українські дослідники підкреслюють, що сучасні підходи до модернізації насосних станцій повинні включати відбір обладнання з нижчими питомими витратами електроенергії та використання систем автоматичного регулювання, що дозволяють адаптувати роботу насосів до реальних потреб мережі з мінімальною перевитратою енергоресурсів [14, с. 400].

Таким чином, класифікація насосного обладнання – це не тільки поділ на типи, вона включає аналіз функцій, конструктивних особливостей, типів приводів та умов експлуатації**.** Це важливо для того, щоб кожен насос відповідав поставленим задачам: забезпечення потрібного напору на різних ділянках мережі, економічної ефективності, тривалої надійної роботи та адаптації до змін умов водоспоживання й режимів роботи. Сучасний підхід до класифікації та вибору насосного обладнання враховує не лише гідравлічні параметри, а й експлуатаційні витрати та загальну стійкість мережі до зовнішніх викликів, включно з енергетичними кризами та бойовими діями.

1.3 Методичні підходи до гідравлічного та енергетичного розрахунку насосних станцій в системах міських інженерних мереж

Гідравлічний і енергетичний розрахунки насосних станцій є одними з ключових етапів проєктування міських систем водопостачання. Вони визначають параметри насосного обладнання, продуктивність насосних агрегатів, необхідний напір, витрати енергії, а також дозволяють оцінити економічні й експлуатаційні показники роботи станції. Результати таких розрахунків

впливають не лише на технічну ефективність, а й на надійність та енергоефективність усієї системи водопостачання.

Гідравлічний розрахунок насосних станцій базується на аналізі руху рідини в трубопроводах, визначенні втрат тиску, вибору оптимальних робочих точок насосів, а також узгодженні їх характеристик з гідравлічними параметрами мережі. Основою цього розрахунку є рівняння Бернуллі, яке описує енергетичний баланс між різними перетинами системи водопостачання з урахуванням втрат на тертя і місцеві опори [10, с. 23]. Своєю чергою

, методичні підходи до застосування рівняння Бернуллі в практичних розрахунках передбачають визначення характеристик трубопроводів, висотних підйомів, втрат тиску на фітингах і клапанах, а також врахування змін витрати води за добовим графіком споживання, як показано на рис.1.4.

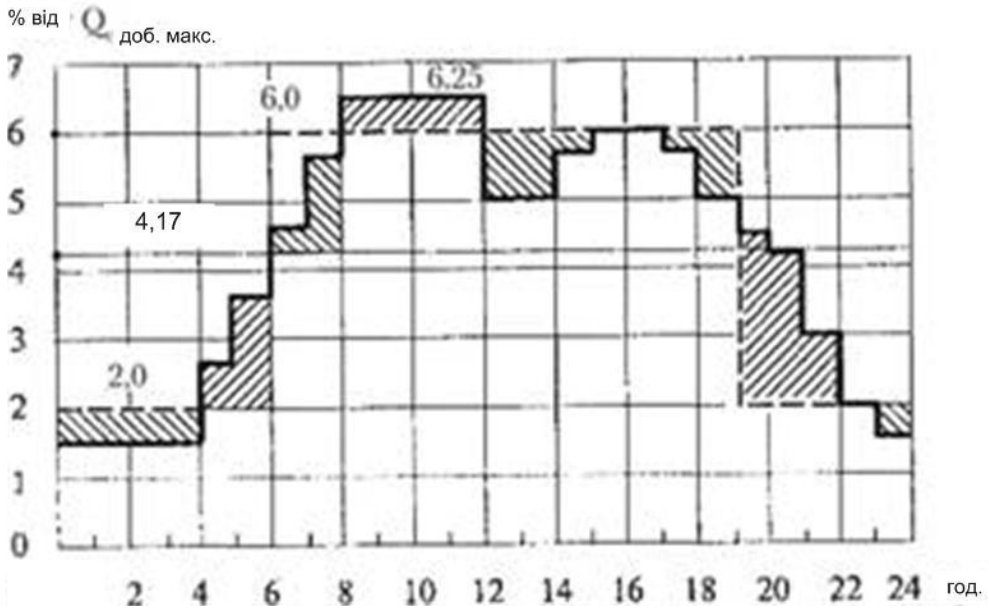


Рисунок 1.4 – Графік добового водоспоживання при коефіцієнті

$К_{заг} = 1,25$ [15]

Одним із основних етапів гідравлічного розрахунку є визначення розрахункового напору насоса. Напір насоса (Н) визначається як сума

геодезичного підйому між початковою та кінцевою точками перекачування, втрат тиску в трубі та додаткових втрат енергії на місцеві опори:

$$H=\Delta h+\sum h_{тертя}+\sum h_{місцеві} \quad (1.1)$$

де Δh – геодезичний перепад висот,

$h_{тертя}$ – втрати на тертя в трубопроводі,

$h_{місцеві}$ – втрати на місцеві опори (коліна, клапани, розширення тощо).

За сучасними методиками, втрати на тертя обчислюються з використанням формули Дарсі–Вейсбаха або емпіричних залежностей, які враховують шорсткість труби, діаметр, режим руху та число Рейнольдса.

Аналіз режимів роботи насосних станцій передбачає визначення гідравлічної характеристики насоса – залежності між напором і подачею насоса. Для практичного проєктування підбирається робоча точка, де крива напору насоса перетинається з характеристикою системи водопостачання. Такий підхід забезпечує оптимальну роботу насоса, мінімальні втрати енергії та стабільність тиску у мережі [14, с. 398]. У роботі дослідників [16, с. 15–16] пропонується нова методика проєктування насосних станцій, яка враховує одночасну оптимізацію експлуатаційних та інвестиційних витрат станції.

Для реалізації гідравлічного розрахунку в сучасній практиці широко застосовуються комп’ютерні моделі та програмні комплекси, які дозволяють аналізувати роботу водопровідної мережі з урахуванням великої кількості змінних. Наприклад, програмні продукти можуть моделювати зміну тиску та швидкості потоку в кожній точці мережі за заданих параметрів роботи насосів і насосних станцій, тим самим допомагаючи визначити найменш сприятливі ділянки мережі щодо стійкості тиску, а також оптимальний режим перемикання насосних агрегатів.

Енергетичний розрахунок насосної станції передбачає визначення енергоспоживання насосного обладнання за заданих гідравлічних умов**.** Основним параметром для такого оцінювання є електрична потужність насоса, яка визначається з виразу [10, с. 26]:

$$N_e = \rho \times g \times Q \times H / \eta, \quad (1.2)$$

де N_e – електрична потужність, Вт;

ρ – густина води, 1000 кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²;

Q – подача насоса, м³/с;

H – напір насоса, м;

η – загальний ККД насоса з приводом.

Цей вираз дозволяє не лише визначити споживану потужність, але й оцінити питомі енергетичні витрати на перекачування одиниці об’єму води, що має велике значення для планування експлуатаційних витрат та оцінки економічності роботи насосної станції.

Енергоспоживання насосних агрегатів може становити значну частину витрат підприємства водопостачання. Саме тому сучасні методичні підходи включають не тільки розрахунок основної електричної потужності, а й аналіз роботи насосів із частотними перетворювачами, систем автоматичного керування та оптимізації режимів. Частотне регулювання дозволяє змінювати швидкість обертання насоса відповідно до поточного попиту на воду, що значно знижує енергетичні втрати в порівнянні з традиційними системами, де насос працює на постійних обертах незалежно від фактичних потреб мережі. Це особливо актуально для міст з нерівномірним графіком споживання води, де

перевитрати електроенергії можуть досягати значних величин у нічні години та періоди мінімального навантаження.

Важливим аспектом при енергетичному та гідравлічному розрахунку є оцінка коефіцієнта корисної дії (ККД) насоса, який залежить від його конструкції, режиму роботи, частоти обертання та параметрів води [10, с. 68]. Вибір насоса з високим ККД може значно зменшити питомі витрати енергії, забезпечивши ефективну роботу системи навіть при великих навантаженнях. За сучасними рекомендаціями проєктних стандартів, оптимальна робоча точка насоса повинна бути близько до значення максимального ККД, що дозволяє досягти економії енергоресурсів без втрати продуктивності станції.

Окрему увагу під час розрахунків приділяють резервуванню та безперервності роботи насосних агрегатів. Під проєктуванням мають передбачатися резервні насоси, системи аварійного живлення, автоматичні перемикачі, що забезпечують безперервну роботу станції в умовах позаштатних ситуацій. Це особливо важливо для мереж водопостачання великих міст, де відмова насосної станції може призвести до серйозних соціальних наслідків.

Таким чином, сучасні методичні підходи до гідравлічного та енергетичного розрахунку насосних станцій базуються на інтеграції класичних гідравлічних принципів із механізмами оптимізації енерговитрат, використанні програмного моделювання та адаптації стандартних методик до реальних умов експлуатації мереж. Ці підходи дозволяють забезпечити як технічну надійність системи водопостачання, так і економічну ефективність її роботи в довгостроковій перспективі.

1.4. Інноваційні підходи та сучасні технології підвищення ефективності роботи насосних станцій у міських інженерних мережах

Насосні станції є критичною складовою інженерних мереж сучасних міст. Вони забезпечують подачу питної води, відведення стічних вод, підтримання необхідних тисків в трубопроводах та стабільність функціонування систем центрального водопостачання і водовідведення. У зв'язку зі зростанням населення, урбанізацією та збільшенням навантаження на інфраструктуру в умовах воєнних дій, традиційні підходи до побудови та експлуатації насосних станцій вже не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності, надійності та цифровізації. Тому підвищення ефективності роботи насосних станцій у міських інженерних мережах є важливим напрямком розвитку сучасних систем водопостачання, оскільки саме насосні агрегати формують значну частину експлуатаційних витрат та енергоспоживання у мережі. Сучасні виклики, включаючи зростання тарифів на електроенергію, необхідність зниження вуглецевого сліду, а також вимоги надійності роботи в умовах нестабільної інфраструктури, змушують інженерів і проєктувальників шукати інноваційні підходи до модернізації насосних станцій та впровадження нових технологій.

Одним із головних викликів є значне енергоспоживання насосних агрегатів**.** Електричні двигуни насосів можуть споживати суттєву частину електроенергії всієї системи водопостачання, що робить оптимізацію їх роботи важливим напрямом підвищення загальної ефективності мережі. Одним із найбільш результативних технічних рішень є застосування електроприводів з регулюванням частоти обертів. Традиційне регулювання подачі води шляхом дроселювання або періодичного вмикання/вимикання насосів призводить до перевитрат електроенергії, підвищеного зносу обладнання та гідравлічних ударів

у мережі. Натомість частотне регулювання дозволяє змінювати швидкість обертання робочого колеса насоса відповідно до реального графіка водоспоживання, забезпечуючи оптимальний режим роботи системи. Тому основним інноваційним напрямом є оптимізація енергоспоживання насосних агрегатів через впровадження сучасних електродвигунів високого класу енергоефективності. Як стверджують українські фахівці [17, с. 27–28], застосування сучасних електродвигунів класу IE5 (рис. 1.5) разом із частотними перетворювачами дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії на перекачування води, особливо в умовах різкої зміни навантажень у добовому циклі. Використання таких двигунів допомагає не лише скоротити операційні витрати, а й зменшити навантаження на енергетичну систему в цілому, що особливо важливо для українських міст під час економічних та енергетичних криз.



Рисунок 1.5 – Електродвигун класу IE5 [18]

У статті [19] наведено результати дослідження щодо оптимізації електроприводів насосних агрегатів на основі частотного керування. Автори доводять, що впровадження перетворювачів частоти дозволяє зменшити споживання електроенергії на 15–35 % [19, с. 93] залежно від характеру навантаження та режиму роботи системи. Крім того, забезпечується більш стабільний тиск у водопровідній мережі, що позитивно впливає на зниження аварійності та втрат води.

Важливою складовою інноваційного підходу є впровадження систем автоматизованого керування насосними станціями на базі SCADA-технологій. Такі системи забезпечують моніторинг параметрів роботи (тиск, витрата, рівень в резервуарах, споживана потужність), аналіз даних у режимі реального часу та формування оптимальних алгоритмів керування. Поєднання частотного регулювання з автоматизованими системами дозволяє реалізувати адаптивне керування, при якому режими роботи насосів автоматично змінюються відповідно до добових і сезонних коливань споживання.

Ще одним сучасним напрямом є використання енергоефективних насосів із покращеними гідравлічними характеристиками. Оптимізація форми робочого колеса, застосування зносостійких матеріалів та високоефективних електродвигунів класу IE3–IE4 [20] сприяють підвищенню ККД агрегатів. У поєднанні з частотними перетворювачами це забезпечує максимальний ефект енергоощадження.

Окремої уваги заслуговує питання мінімізації гідравлічних ударів і коливань тиску (рис. 1.6). Частотне керування забезпечує плавний пуск та зупинку насосів, що значно знижує динамічні навантаження на трубопроводи та арматуру. Це особливо актуально для міських мереж зі зношеними трубопроводами, де різкі перепади тиску можуть призводити до аварійних ситуацій.

Також сучасні підходи передбачають інтеграцію насосних станцій у концепцію «розумного міста» (Smart City). Дані з датчиків тиску та витрати можуть передаватися до єдиної міської інформаційної системи, що дозволяє прогнозувати пікові навантаження, планувати ремонти та оптимізувати режими роботи обладнання.

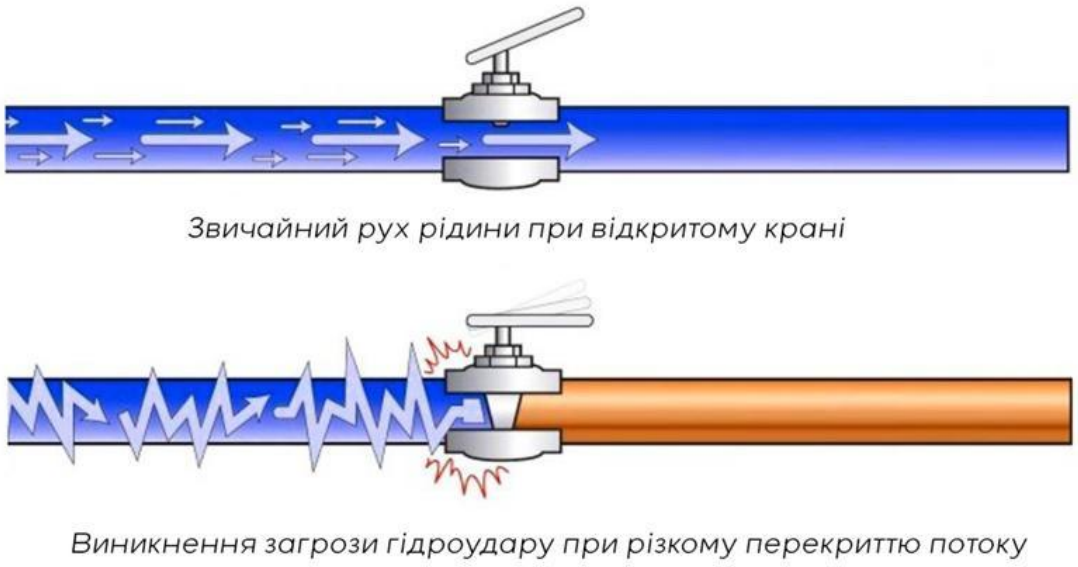


Рисунок 1.6 – Гідравлічний удар в трубопроводі [21]

Використання методів математичного моделювання та цифрових двійників систем водопостачання створює можливості для попереднього тестування різних сценаріїв роботи насосних станцій без втручання в реальну мережу.

Таким чином, впровадження електроприводів з регулюванням частоти обертів, автоматизованих систем керування, енергоефективного обладнання та цифрових технологій є комплексним інноваційним підходом до підвищення ефективності роботи насосних станцій у міських інженерних мережах. Результати сучасних досліджень підтверджують, що оптимізація електроприводів на основі частотного керування є технічно та економічно обґрунтованим рішенням, яке забезпечує зниження енерговитрат, підвищення надійності системи та покращення якості водопостачання.

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДИ

2.1 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста

2.1.1. Визначення кількості населення

За рівнем інженерного благоустрою та особливостями забудови територію міста доцільно умовно поділити на три функціональні райони. Перший і третій райони представлені переважно дев'ятиповерховими житловими будинками, які повністю забезпечені внутрішніми системами водопостачання, каналізації та централізованого гарячого водопостачання.

Другий район характеризується здебільшого п'ятиповерховою житловою забудовою. Будинки цього району оснащені внутрішнім водопроводом і системою водовідведення, а забезпечення гарячою водою здійснюється за допомогою індивідуальних (місцевих) водонагрівачів.

Крім житлової забудови, на території міста функціонують два промислові підприємства. Їх основні техніко-економічні показники та характеристики наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1–Характеристика підприємств

Назва підприємства	Витрата води на виробництво	Кількість працівників по змінах			Категорія пожежної безпеки
	$м^3$/доб	1	2	3	
Підприємство №1	10200	1200	1000	900	I,II Б,В
Підприємство №2	500	500	400	-	III Д

Кількість населення в кожному районі міста визначено за формулою:

$$N_i = P_i \times F_i, \quad (2.1)$$

де P_i –-густина населення, чол/га;

F_i – площа і-го району.

$N_1 = 99{,}89 \times 460 = 45949 мешканців$; $N_2 = 147{,}62 \times 255 = 37674 мешканця$;

$N_3 = 122{,}97 \times 360 = 44270 мешканців$.

2.1.2 Визначення добових розрахункових витрат води міста

В межах міста передбачається використання води для забезпечення господарсько-питних потреб населення, поливу вуличної території та зелених насаджень, а також для технологічних потреб промислових підприємств.

Розрахунок витрат води виконується окремо для кожного з трьох виділених районів, з урахуванням особливостей забудови та рівня благоустрою. При цьому витрати на господарсько-питні потреби населення та на полив територій визначаються роздільно.

Середньодобова витрата води для *і-го* району обчислюється за відповідною розрахунковою формулою, м³/добу:

$$Q_{добі} = N_i \times q_i / 1000, \quad (2.2)$$

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб [22, табл.1].

Розрахункові витрати води для окремих районів в добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м³/доб, визначені за формулами:

$$Q_{доб.максі} = K_{доб.максі.} \times Q_{добі}, \quad (2.3)$$

$$Q_{доб.мініі} = K_{доб.міні.} \times Q_{доб}, \quad (2.4)$$

де $K_{доб.макс.}$ $K_{доб.мін.}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [22,п. 6.1.2].

Розрахунки з визначення добових витрат води представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

Район	Кількість населення	Питоме водоспо живання, л/доб чол	$K_{доб.макс.}$	$K_{доб.мін}$	$Q_{доб.сер.}$	$Q_{äîá .ìàêñ}$	$Q_{доб.мін}$
1	45949	280	1,15	0,85	12865,8	14795,7	10935,9
2	37674	180	1,2	0,8	6781,3	8137,6	5425,0
3	44270	280	1,15	0,85	12395,6	14254,9	10536,3
Всього	127893				24297	37188,2	26897,2

Розрахунок добової витрати води на полив територій (вулично-дорожньої мережі та зелених насаджень) виконано на основі питомих показників у перерахунку на одного жителя відповідно до нормативних даних [22, примітка 1 до табл. 3]. З огляду на кліматичні особливості району розташування міста (зона східного степу), потужність джерела водопостачання та рівень благоустрою населеного пункту (середнє місто з чисельністю населення 50–250 тис. осіб), питому витрату води на полив прийнято в розмірі 65-70 л/добу на одного мешканця.

Із загального обсягу води, що витрачається на полив, орієнтовно 40 % використовується для ручного прибирання та поливу прибудинкових територій, а близько 60 % – за допомогою спеціалізованих поливальних машин. Результати виконаних розрахунків витрат води на полив вулиць і зелених зон наведені у таблиці 2.3.

На промислових підприємствах вода використовується для забезпечення господарсько-питних потреб працівників, користування душовими після зміни, а також для технологічних процесів відповідно до виробничих вимог.

Таблиця 2.3 – Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень

Район міста	Кількість мешканців	Питома витрата на полив, л/меш	Добова витрата води на полив, м^3/доб		
			Всього по району	Двірниками, 40%	Машинами, 60%
Перший район	45949	65	3002	1200,8	1801,2
Другий район	37674	70	2637,2	1054,9	1582,3
Третій район	44270	70	3098,9	1239,6	1859,3
Усього	127893		8738,1	3495,3	5242,8

Обсяг водоспоживання визначається з урахуванням специфіки виробництва та умов праці в окремих цехах. Для цехів із підвищеним тепловиділенням (понад 80 кДж, або 20 ккал, на 1 м³/год), тобто так названих «гарячих» цехів, нормативна витрата води приймається у розмірі 45 л на одного працівника за зміну. Для інших виробничих підрозділів цей показник становить 25 л на одного працівника за зміну.

Результати розрахунку водоспоживання на промислових підприємствах наведені у таблиці 2.4. Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0{,}5\sum N_i / n_i \ , \qquad (2.5)$$

де 0,5 – годинна витрата води на одну душову сітку, м^3;

N_i – кількість робітників в цехах з і-ою характеристикою виробничого процесу;

n_i – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для і-ої санітарної характеристики виробничого процесу [2]. Розрахунки витрат на приймання душу зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.4 – Визначення розрахункових витрат на господарсько-питні потреби робітників

Зміна	Кіль кість, чол.	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загаль на витрата, м^3
		Кількіст ь, чол.	q, л/зм чол.	Витра та, м^3	Кіль кість, чол.	q, л/зм чол.	Витра та, м^3	
Підприємство №1								
1	1200	600	45	27,00	600	25	15,00	42,00
2	1000	500		22,50	500		12,50	35,00
3	900	450		20,25	450		11,25	31,50
	3100	1550		69,75	1550		38,75	108,50
Підприємство №2								
1	500	150	45	6,75	350	25	8,75	15,5
2	400	120		5,40	280		7,00	12,4
	900	270		12,15	630		15,75	27,90
Усьо го	4000	1820		81,90	2180		54,50	136,40

2.2 Режим водоспоживання міста

Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності для призначення режиму водоспоживання на господарсько-питні потреби і-го району визначається по формулі:

$$K_{макс.} = \alpha_{імакс} \times \beta_{імакс} \qquad (2.7)$$

Таблиця 2.5 –Розрахунок витрат води на приймання душу

Назва	1	2	3	Група процесу	Кількість робітників на 1 сітку	Кількість сіток			Витрата води, куб. м		
Підприємство 1											
						1	2	3	1	2	3
Холодний цех	600	500	450	Іа (не викликає забруднення одягу та рук)	15	40	33	30	20,0	16,5	15,0
Гарячий цех	600	500	450	IIб (з виділенням великої кількості пилу)	3	200	167	150	100,0	83,5	75,0
Усього (№1)	1200	1000	900						120,0	100,0	90,0
Підприємство 2											
Холодний цех	350	280		Іа (не викликає забруднення одягу та рук)	15	23	19	-	11,5	9,5	-
Гарячий цех	150	120		Іб (викликає забруднення одягу та рук)	7	21	17	-	10,5	8,5	-
Усього (№2)	500	400	900						22	18	
Усього	1700	1400	900						142	118	90

де $\alpha_{i макс.}$ - коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків,

$\alpha_{1макс}$=1,3; $\alpha_{2макс}$=1,3, $\alpha_{3макс}$=1,3 [22, п. 6.1.2];

β - коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі,

$\beta_{1макс}$=1,162; $\beta_{2макс}$=1,171, $\beta_{3макс}$ =1,60 [22,п. 6.1.2].

$$K_{год.макс.\ 1}=1{,}3\times1.162=1{,}51$$

$$K_{год.макс.\ 2}=1{,}3\times1.171=1{,}52,\ K_{год.макс.\ 3}=1{,}3\times1.16=1{,}51.$$

Визначені коефіцієнти $K_{год}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [3, с.]. Розподіл водоспоживання за годинами доби приймаємо для першого району – за коефіцієнтом $K_{год}$=1,5; для другого – $K_{год}$=1,5, для третього – $K_{год}$=1,5.

При цьому значення витрати у відсотках від $Q_{доб}$ в годину максимального водоспоживання змінені на значення:

$$Р_{ск} = К_{і.макс.} \times \mathbf{4,17,} \qquad (2.8)$$

де $Р_{ск}$ – витрата в годину максимального водоспоживання у відсотках від $\boldsymbol{Q}_{доб}$

Щоб не порушився баланс, коригуються витрати у двох годинах із середнім споживанням.

Витрата води на господарсько-питні потреби для кожної години доби визначена по формулі:

$$Q_i = P_i \times Q_{ідоб\ макс}/100, \qquad (2.9)$$

де P_i – значення і-ї годинної витрати;

$Q_{i\ доб\ макс}$ – максимальна витрата для і-го району міста.

Режим витрати води на полив прийнято рівномірним протягом частини доби. При цьому полив силами двірників здійснюється по 4 години ранком і ввечері. Полив машинами передбачено безупинно протягом двох змін по 7 годин. Годинна витрата на полив визначається по формулі:

$$Q_{год.\ пол}=Q_{доб.\ пол}/T_{пол} \quad (2.10)$$

де $Q_{доб\ пол}$ – витрата на поливання, м^3/доб;

$T_{пол}$ – тривалість поливу, год.

Для системи господарсько-питного водопостачання на підприємстві прийнято коефіцієнти годинної нерівномірності з урахуванням умов праці в різних виробничих приміщеннях. Для гарячих цехів цей коефіцієнт становить 2,5, тоді як для холодних –3, що пояснюється відмінностями у режимах споживання води протягом зміни.

Витрати води на користування душовими враховуються після завершення робочих змін, оскільки саме в цей період спостерігається пікове навантаження на систему. Споживання води для технологічних процесів приймається рівномірним упродовж доби, якщо інше не передбачено особливостями виробництва.

Результати погодинного розподілу витрат води протягом доби наведені в таблиці 2.6.

2.3 Схема транспортування води

У даній кваліфікаційній роботі прийнято кільцеву схему водопровідної мережі, яка складається з 8 кілець, 17 вузлів та 24 розрахункових ділянок, схема мережі показана на рис. 2.1.

Таблиця 2.6 – Добові витрати води міста

	Перший район		Другий район		Третій район		Перший район		Другий район		Третій район	
	%	куб. м	%	куб. м	%	куб. м	двірники	машини	двірники	машини		
0-1	1,5	221,9	1,5	122,1	1,5	213,8						
1-2	1,5	221,9	1,5	122,1	1,5	213,8						
2-3	1,5	221,9	1,5	122,1	1,5	213,8						
3-4	1,5	221,9	1,5	122,1	1,5	213,8						
4-5	2,5	369,9	2,5	203,4	2,5	356,4						
5-6	3,5	517,8	3,5	284,8	3,5	498,9	200,1		175,8		206,,6	
6-7	4,48	662,8	4,45	362,1	4,48	638,6	200,1	128,6	175,8	113,1	206,6	132,8
7-8	**5,5**	**813,8**	**5,5**	**447,6**	**5,5**	**784,0**	**200,1**	**128,7**	**175,8**	**113,0**	**206,6**	**132,8**
8-9	6,25	924,7	6,25	508,6	6,25	890,9		128,6		113,0		132,8
9-10	6,3	932,1	6,34	515,9	6,3	898,1		128,7		113,0		132,8
10-11	6,25	924,7	6,25	508,6	6,25	890,9		128,7		113,0		132,8
11-12	6,25	924,7	6,25	508,6	6,25	890,9		128,6		113,0		132,8
12-13	5,0	739,8	5	406,9	5,0	712,7		128,7		113,0		132,8
13-14	5,0	739,8	5	406,9	5,0	712,7		128,7		113,0		132,8
14-15	5,5	813,8	5,5	447,6	5,5	784		128,6		113,0		132,8
15-16	6,0	887,7	6	488,3	6,0	855,3		128,7		113,0		132,8
16-17	6,0	887,7	6	488,3	6,0	855,3		128,7		113,0		132,8
17-18	5,5	813,8	5,5	447,6	5,5	784,0		128,7		113,0		132,8
18-19	5,0	739,8	5	406,9	5,0	712,7		128,6		113,1		132,9
19-20	4,47	661,4	4,46	362,9	4,47	637,2	200,1	128,6	175,9	113,1	206,6	132,8
20-21	4,0	591,8	4	325,5	4,0	570,2	200,2		175,8		206,6	
21-22	3,0	443,9	3	244,1	3,0	427,6	200,2		175,8		206,6	
22-23	2,0	295,9	2	162,8	2,0	285,1						
23-24	1,5	222,2	1,5	121,8	1,5	214,2						
	100	14795,7	100	8137,6	100	14254,9	1200,8	1801,2	1054,9	1582,3	1239,6	1859,3

продовження таблиці 2.6

	Витрати води на промислових підприємствах												Загальна витрата	
	Підприємство №1						Підприємство №2							
	Гарячі		Холодні		Душ	Вироб. потреби	Гарячі		Холодні		Душ	Вироб. потреби		
	%	куб.м.	%	куб.м.			%	куб.м.	%	куб.м.	$м^3$	$м^3$	куб.м.	%
0-1	15,65	3,52	18,75	2,34	100	425	15,65	0,85	18,75	1,31	18,0	20,83	1129,7	1,98
1-2	12,05	2,44	6,25	1,865		425	12,05		6,25			20,83	1006,8	1,76
2-3	12,05	2,44	12,5	1,41		425	12,05		12,5			20,83	1007,5	1,76
3-4	12,05	2,44	12,5	1,41		425	12,05		12,5			20,83	1007,5	1,76
4-5	12,05	2,44	18,75	2,11		425	12,05		18,75			20,83	1380,1	2,42
5-6	12,05	2,44	6,25	1,865		425	12,05		6,25			20,83	2333,0	4,08
6-7	12,05	2,44	12,5	1,41		425	12,05		12,5			20,83	3070,2	5,38
7-8	**12,05**	**2,44**	**12,5**	**1,41**		**425**	**12,05**		**12,5**			**20,83**	**3452,1**	**6,04**
8-9	15,65	3,17	18,75	2,11	90,0	425	15,65		18,75			20,83	3239,8	5,67
9-10	12,05	3,25	6,25	0,94		425	12,05	0,81	6,25	0,55		20,83	3172,0	5,55
10-11	12,05	3,25	12,5	1,88		425	12,05	0,81	12,5	1,09		20,83	3151,6	5,52
11-12	12,05	3,25	12,5	1,88		425	12,05	0,81	12,5	1,09		20,83	3151,6	5,52
12-13	12,05	3,25	18,75	2,81		425	12,05	0,81	18,75	1,64		20,83	2688,2	4,71
13-14	12,05	3,25	6,25	0,94		425	12,05	0,81	6,25	0,55		20,84	2685,3	4,70
14-15	12,05	3,25	12,5	1,88		425	12,05	0,81	12,5	1,09		20,84	2872,8	5,03
15-16	12,05	3,25	12,5	1,88		425	12,05	0,81	12,5	1,09		20,84	3058,7	5,36
16-17	15,65	4,23	18,75	2,81	120,0	425	15,65	1,06	18,75	1,64	22,0	20,84	3203,4	5,61
17-18	12,05	2,71	6,25	0,78		425	12,05	0,65	6,25	0,44		20,83	2870,3	5,03
18-19	12,05	2,71	12,5	1,56		425	12,05	0,65	12,5	0,88		20,84	2685,5	4,70
19-20	12,05	2,71	12,5	1,56		425	12,05	0,65	12,5	0,88		20,84	3070,2	5,38
20-21	12,05	2,71	18,75	2,34		425	12,05	0,65	18,75	1,31		20,84	2522,9	4,42
21-22	12,05	2,71	6,25	0,78		425	12,05	0,65	6,25	0,44		20,84	2148,6	3,76
22-23	12,05	2,71	12,5	1,56		425	12,05	0,65	12,5	0,88		20,83	1195,4	2,09
23-24	12,05	2,71	12,5	1,56		425	12,05	0,65	12,5	0,88		20,83	1009,5	1,77
	300,00	69,75	300	38,75	310	10200	300	12,15	300	15,75	40	500	57112,7	100,00

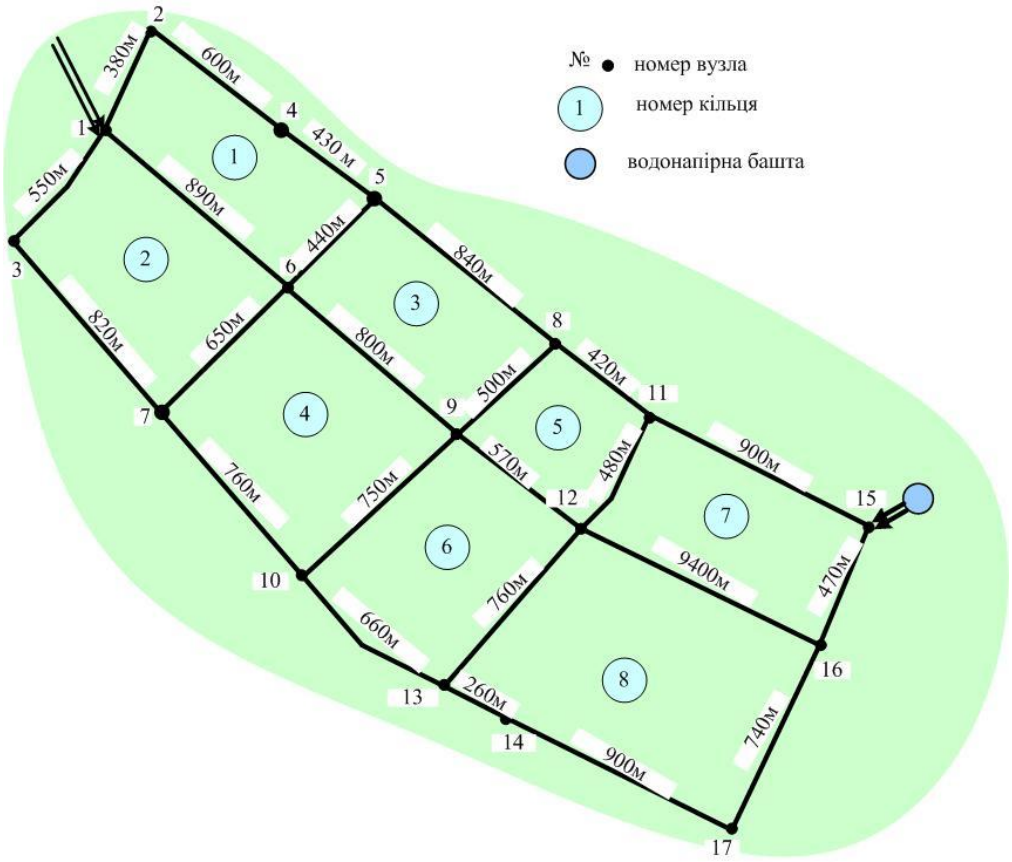


Рисунок 2.1 – Схема мережі транспортування води

Кільцева схема розроблена з урахуванням вимог надійності та безперебійності водопостачання. На відміну від тупикових мереж, кільцева забезпечує можливість надходження води до споживачів з двох напрямків. У разі пошкодження окремої ділянки її можна від’єднати засувками без повного припинення водопостачання району. Такий підхід відповідає сучасним принципам проєктування міських інженерних мереж, які передбачають резервування та підвищену експлуатаційну стійкість систем. Планування трас виконано з урахуванням конфігурації вулично-дорожньої мережі, рельєфу території та розміщення основних споживачів води.

Магістральні водогони прокладено вздовж головних вулиць із найбільшою щільністю забудови, що дозволяє мінімізувати довжину розподільчих трубопроводів та зменшити гідравлічні втрати напору. Розподільчі лінії формують замкнені контури (кільця), які з'єднані між собою у вузлових точках.

В межах прийнятої схеми 17 вузлів є точками з'єднання трубопроводів, зміни напрямку руху води та відбору витрат споживачами. Всі вузли є розрахунковими (вузлами відбору витрат), у яких задається споживання води відповідно до розподілу навантаження по території. Також вузли виконують функцію з'єднувальних або контрольних точок. У кожному вузлі передбачається встановлення запірної арматури для забезпечення можливості секціонування мережі.

Мережа поділена на 24 розрахункові ділянки, кожна з яких характеризується певною довжиною, діаметром трубопроводу та витратою води. Межами ділянок є вузли мережі. Такий поділ є використано для виконання гідравлічного розрахунку, визначення втрат напору на окремих відрізках та подальшого вибору діаметрів труб. При трасуванні враховано рівномірний розподіл витрат по кільцях, що спрощує балансування системи та зменшує ймовірність виникнення зон з пониженим або надлишковим тиском.

Формування 8 кілець виконано таким чином, щоб кожне кільце охоплювало окремий планувальний квартал або групу кварталів. Кільця взаємопов'язані між собою через спільні вузли, що створює єдину гідравлічно замкнену систему. При цьому забезпечено можливість від'єднання одного кільця без істотного впливу на роботу інших, що підвищує експлуатаційну гнучкість мережі. Водонапірна башта приєднується до мережі через вузол 15, що відповідає найбільшим геодезичним позначкам.

Трасування також враховує вимоги щодо мінімальних відстаней до інших інженерних комунікацій (каналізації, теплових мереж, газопроводів, кабельних

ліній), а також глибину закладання трубопроводів з урахуванням глибини промерзання ґрунту. Трубопроводи, як правило, прокладаються по одному боці вулиці, що спрощує монтажні роботи та подальше технічне обслуговування.

Таким чином, прийнята схема трасування водопровідної мережі з 8 кільцями, 17 вузлами та 24 ділянками є технічно обґрунтованою та відповідає сучасним вимогам до проєктування систем централізованого водопостачання. Вона забезпечує необхідний рівень надійності, гідравлічної стійкості та можливість подальшого розвитку мережі в разі розширення забудови або збільшення водоспоживання.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

3.1 Трасування мережі та обгрунтування режимів гідравлічного розрахунку

Площа населеного пункту становить 371 га, що відповідає параметрам міста середнього розміру. Основна частина території розташована на відмітці близько 65 м, що свідчить про відносно рівнинний характер рельєфу. У даній кваліфікаційній роботі розглядається проєктування схеми мережі централізованого водопостачання міста, генеральний план якого представлено на рисунку 2.1.

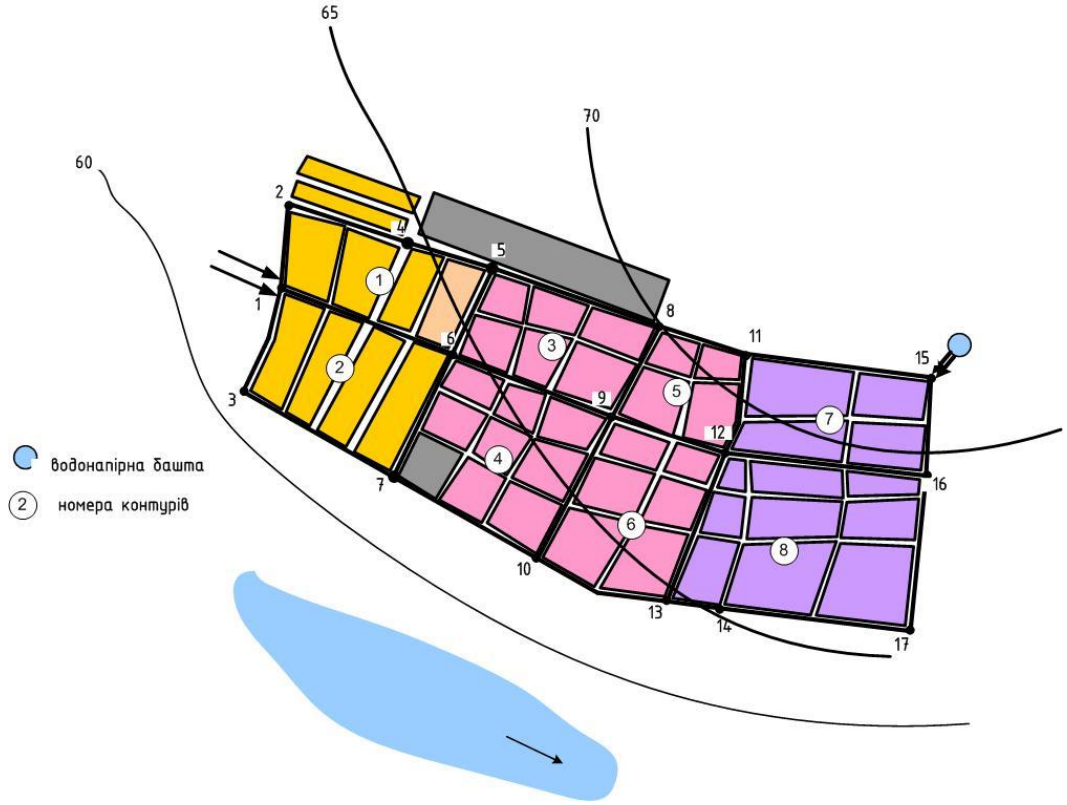


Рисунок 3.1 – Схема водопровідної мережі міста

Водонапірна башта підключена до мережі у найвищому місці на позначці 72,0 м –- на протилежному боці відносно вузла приєднання водоводів до мережі.

До розрахунку приймається схема з контррезервуаром. Водопровідна мережа розраховується на 3 режими – режим максимального водоспоживання, режим максимального транзиту води в башту та режим пожежегасіння в годину максимального водоспоживання. Розрахунок води на пожежогасіння виконується відповідно до [22, п 2.23]. Витрата води на пожежогасіння визначається за формулою

$$Q_n = \mathrm{n} \times (\mathrm{q}_{зов} + q_{вн}) + 0.5 \times q_{під}, \quad (3.1)$$

де n – кількість пожеж, що можуть виникати одночасно;

$\mathrm{q}_{зов}$ – розрахункова витрата води на гасіння зовнішньої пожежі, л/с;

$\mathrm{q}_{вн}$ – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежогасіння, л/с;

$q_{під}$ - итрата води на пожежогасіння на території підприємства.

$Q_п$ =3×(40+5)+0,5×(110+10)=145 л/с.

Витрата води в башту в годину максимального транзиту визначається за формулою

$$Q_{макс.\ тр.} = \alpha \times Q_{макс.\ доб.}/100, \quad (3.2)$$

де α – найбільший відсоток надхдження води в башту;

$Q_{макс.\ доб}$ – витрата в добу максимального водоспоживання, м^3/добу.

$Q_{макс.\ тр.}$=1,24×57112,7/100=708,2 м^3/год=196,4 л/с.

3.2 Визначення розрахункових витрат по ділянках мережі та діаметрів ділянок

Питома витрата для і-го району при максимальному водоспоживанні визначається за формулою:

$$q_{пит.i} = (Q_i - \Sigma Q_{ci}) / \Sigma l_i \qquad (3.3)$$

де Q_i – повна витрата води для і-го району, що відбирається з мережі при максимальному водоспоживанні, л/с;

ΣQ_{ci} – сумарна зосереджена витрата в і-му районі, л/с;

Σl_i – загальна розрахункова довжина магістральної лінії і-го району, м.

при максимальному водоспоживанні

1-й район $q_{пит.1} = 317{,}4 / 3125 = 0{,}101568 л/с \cdot м$;

2-й район $q_{пит2} = 204{,}5 / 5125 = 0{,}039902 л/с \cdot м$;

3-й район $q_{пит2} = 312{,}1 / 3325 = 0{,}093865 л/с \cdot м$.

при максимальному транзиті

1-й район $q_{пит.1} = 178{,}9 / 3125 = 0{,}057248 л/с \cdot м$;

2-й район $q_{пит2} = 116{,}6 / 5125 = 0{,}022751 л/с \cdot м$;

3-й район $q_{пит2} = 176{,}2 / 3325 = 0{,}052992 л/с \cdot м$.

Для всіх районів шляхові витрати ділянок визначені за формулою:

$$Q_{шл} = q_{пит.i} \times l_{діл}, \qquad (3.4)$$

де $l_{діл}$ – розрахункова довжина ділянки, що розглядається, м.

Розрахунок шляхових витрат ділянок для випадку максимального водоспоживання представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку шляхових витрат для режиму максимального водоспоживання

№	Розрахункова довжина, м	Питома витрата, $q_{пит.i}$,л/с*м	Шляхова витрата $Q_{шл}$, л/с
1	2	3	4
1	190	0,101568	19,30
2	275	0,101568	27,93
3	600	0,101568	60,94
4	215	0,101568	21,84
5	890	0,101568	90,40
6	410	0,101568	41,64
7	440	0,101568/0,039902	31,12
8	650	0,101568/0,039902	45,98
9	420	0,039902	16,76
10	800	0,039902	31,92
11	380	0,039902	15,16
12	500	0,039902	19,95
13	750	0,039902	29,93
14	210	0,039902	8,38
15	570	0,039902	22,74
16	330	0,039902	13,17
17	480	0,039902/0,093865	32,11
18	760	0,039902/0,093865	50,83
19	450	0,093865	42,24
20	940	0,093865	88,23
21	260	0,093865	24,40
22	450	0,093865	42,24
23	235	0,093865	22,06
24	370	0,093865	34,73
	11575		$\sum Q_{шл} = 834{,}0$

В годину максимального водоспоживання сумарні шляхові витрати для всіх районах становлять: $\sum Q_{шл}$ =834 л/с.

Розрахунок шляхових витрат ділянок для режиму максимального транзиту води в башту представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Шляхові витрати для режиму максимального транзиту води в башту

№	Розрахункова довжина, м	Питома витрата, $q_{пит.і}$,л/с*м	Шляхова витрата $Q_{шл,}$ л/с
1	2	3	4
1	190	0,057248	10,88
2	275	0,057248	15,74
3	600	0,057248	34,35
4	215	0,057248	12,31
5	890	0,057248	50,95
6	410	0,057248	23,47
7	440	0,057248/0,022751	17,60
8	650	0,057248/0,022751	26,00
9	420	0,022751	9,55
10	800	0,022751	18,20
11	380	0,022751	8,64
12	500	0,022751	11,38
13	750	0,022751	17,06
14	210	0,022751	4,78
15	570	0,022751	12,97
16	330	0,022751	7,51
17	480	0,022751/0,052992	18,18
18	760	0,022751/0,052992	28,78
19	450	0,052992	23,85
20	940	0,052992	49,81
21	260	0,052992	13,78
22	450	0,052992	23,85
23	235	0,052992	12,45
24	370	0,052992	19,61
	11575		$\sum Q_{шл} = 471{,}7$

В годину максимального транзиту води в башту сумарні шляхові витрати для всіх районах становлять: $\sum Q_{шл}$=834 л/с.

Таблиця 3.3 – Вузлові витрати для режиму максимального водоспоживання

№ вузла	Ділянки, що примикають до вузла	$(\Sigma Q_{шл})_{вузл}$,	$Q_{вузл\ j} = 0,5\ (\Sigma Q_{шл})_{вузл}$ (л/с
1	1,2,5	137,63	68,82
2	1,3	80,24	40,12
3	2,6	69,57	34,78
4	3,4	82,78	41,39
5	4,7,9	69,72	34,86
6	5,7,8,10	199,42	99,71
7	6,8,11	102,78	51,39
8	9,12,14	45,09	22,55
9	10,12,13,15	104,54	52,27
10	11,13,16	58,26	29,13
11	14,17,19	82,73	41,36
12	15,17,18,20	193,91	96,96
13	16,18,21	88,40	44,20
14	21,22	66,64	33,32
15	19,23	64,30	32,15
16	20,23,24	145,02	72,51
17	22,24	76,97	38,48
			$\sum Q_{вузл} = 834,0$

Розрахунок вузлових витрат для режиму максимального транзиту води в башту представлено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Вузлові витрати для режиму максимального транзиту води

№ вузла	Ділянки, що примикають до вузла	$(\Sigma Q_{шл})_{вузл}$,	$Q_{вузл\ j} = 0,5\ (\Sigma Q_{шл})_{вузл}$ (л/с
1	1,2,5	77,57	38,79
2	1,3	45,23	22,61
3	2,6	39,21	19,61
4	3,4	46,67	23,33
5	4,7,9	39,46	19,73
6	5,7,8,10	112,75	56,37
7	6,8,11	58,11	29,06
8	9,12,14	25,71	12,85
9	10,12,13,15	59,61	29,81
10	11,13,16	33,21	16,60
11	14,17,19	46,81	23,41
12	15,17,18,20	109,74	54,87
13	16,18,21	50,07	25,03
14	21,22	37,63	18,82
15	19,23	36,30	18,15
16	20,23,24	81,87	40,93
17	22,24	43,46	21,73
			$\sum Q_{вузл} = 471,7$

Початковий розподіл витрат води в мережі для режиму максимального водоспоживання наведено на рисунку 3.2. Схема потокорозподілу при найбільшому транзиті води до водонапірної башти представлена на рисунку 3.3. Розрахунковий випадок роботи системи під час пожежі за умов максимального водоспоживання проілюстровано на рисунку 3.4.

Результати визначення діаметрів ділянок мережі показані в таблиці 3.5.

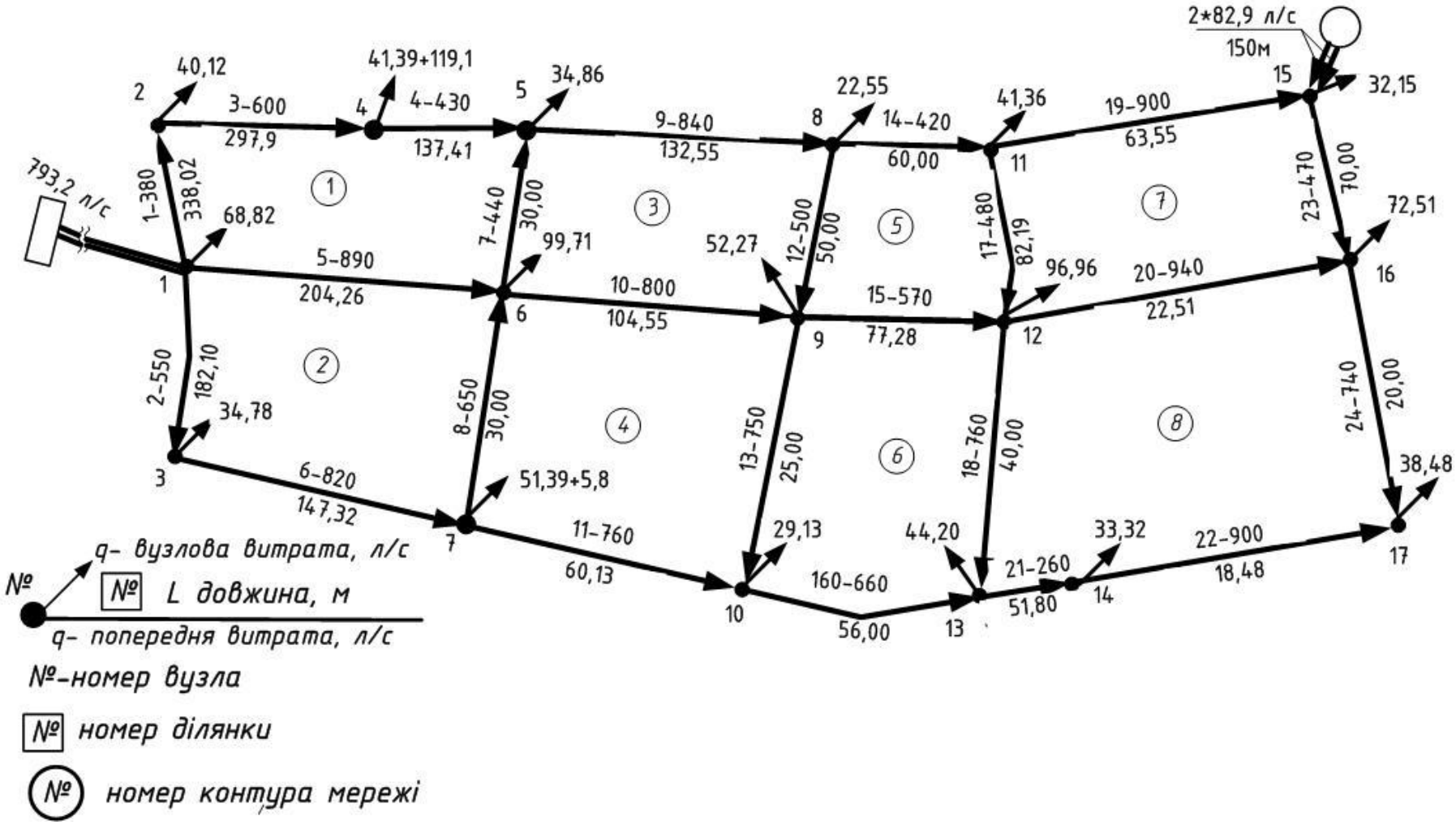


Рисунок 3.2 – Схема попереднього розподілу потоків на ділянках водопровідної мережі (година максимального водоспоживання)

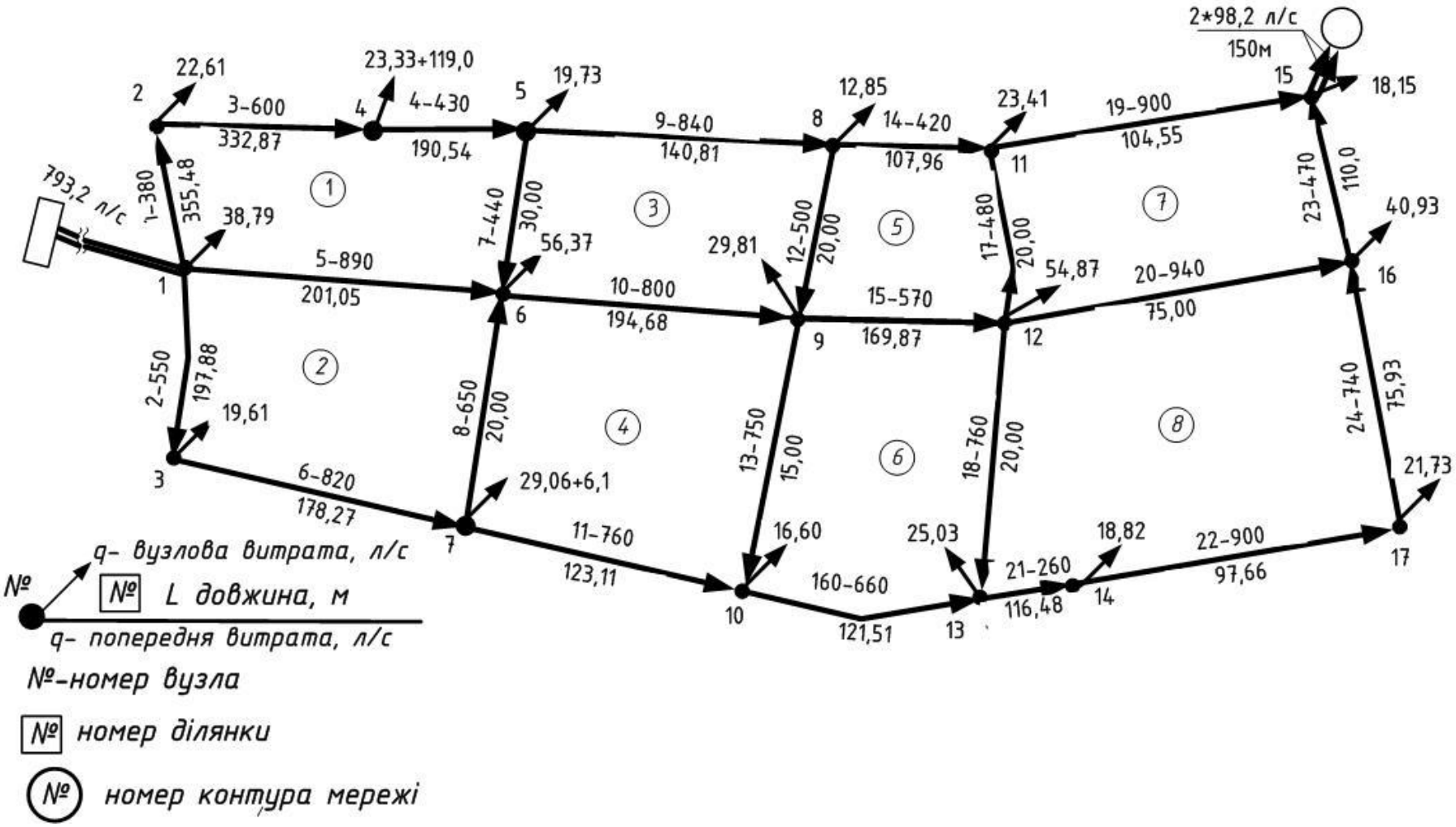


Рисунок 3.3 – Схема попереднього розподілу потоків на ділянках водопровідної мережі (година максимального транзиту води в башту)

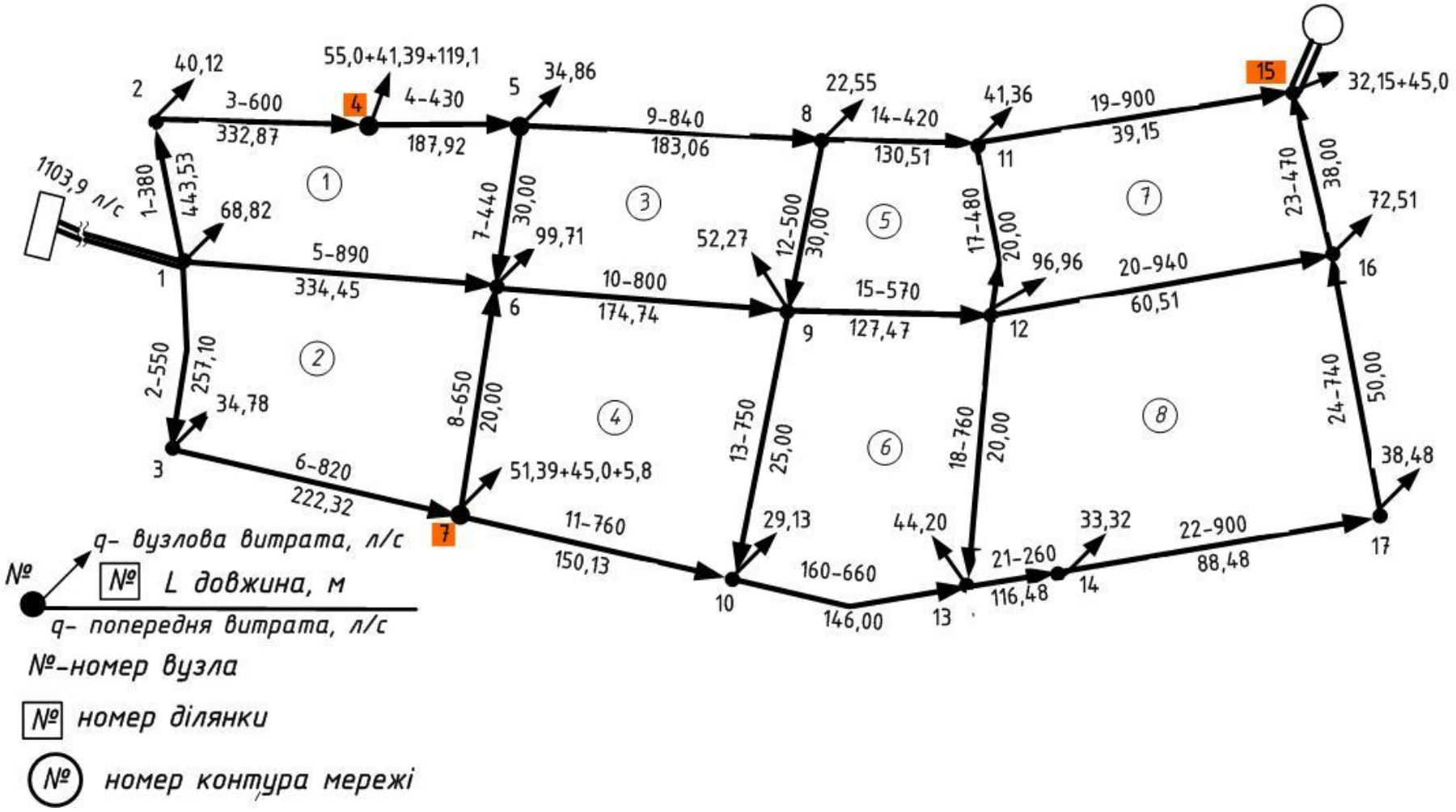


Рисунок 3.4 – Схема попереднього розподілу потоків на ділянках водопровідної мережі (пожежогасіння в годину максимального водоспоживання)

Таблиця 3.5 – Визначення діаметрів ділянок

№ ділянки	Витрата в годину максимального водоспоживання, л/с	Витрата в годину максимального транзиту води в башту, л/с	Витрата при пожежогасінні, л/с	Діаметр, мм
1	338,02	355,48	443,53	500
2	182,10	197,88	257,10	400
3	297,90	332,87	403,41	500
4	137,41	190,54	187,92	450
5	204,26	201,05	334,45	500
6	147,32	178,27	222,32	400
7	30,00	30,00	30,00	300
8	30,00	20,00	30,00	250
9	132,55	140,81	183,06	400
10	104,55	194,68	174,74	400
11	60,13	123,11	150,13	350
12	50,00	20,00	30,00	250
13	25,00	15,00	25,00	250
14	60,00	107,96	130,51	350
15	77,28	169,87	127,47	350
16	56,00	121,51	146,00	300
17	82,19	20,00	50,00	250
18	40,00	20,00	20,00	250
19	63,55	104,55	39,15	350
20	22,51	75,00	60,51	300
21	51,80	116,48	121,80	300
22	18,48	97,66	88,48	250
23	70,00	110,00	38,00	300
24	20,00	75,93	50,00	250

3.3 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі

Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі виконано із застосуванням розрахункової програми **Gidrast 1**. Вхідними параметрами для розрахунку слугували довжини та діаметри трубопровідних ділянок, витрати води при початковому розподілі потоків, коди ділянок, кількість вузлів і контурів мережі,

а також допустиме значення нев’язки. Отримані результати наведені у таблицях А.1–А.3 додатка А.

У процесі розрахунку визначено фактичні витрати води на окремих ділянках мережі відповідно до прийнятих діаметрів труб, а також втрати напору під час транспортування води. Розраховані втрати напору відповідають другому закону Кірхгофа [23, с.68], що дало змогу встановити п’єзометричні відмітки та реальні значення вільних напорів у всіх вузлах системи. Крім того, на основі отриманих результатів визначено необхідний напір насосного обладнання, яке подає воду в мережу, а також розрахункову висоту водонапірної башти.

3.4 Визначення п’єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі

П’єзометричні відмітки та фактичні значення вільних тисків у всіх вузлах мережі визначено на основі втрат напору на окремих ділянках, отриманих у результаті гідравлічної ув’язки системи. Розрахункові п’єзометричні позначки встановлювалися після визначення найбільш несприятливої точки мережі, для якої необхідна максимальна п’єзометрична відмітка в місці приєднання водоводів.

Для режиму максимального водоспоживання такою точкою є вузол №162 у режимі максимального транзиту води до водонапірної башти – сама водонапірна башта; при пожежному режимі в годину найбільшого водоспоживання – вузол №16.

Необхідний вільний тиск визначено за формулою [22, п. 6.3.1]:

$$H_{віл.потр.і} = 6 + 4n, \tag{3.4}$$

де $H_{віл.потр.і}$ – необхідний вільний тиск в і-му вузлі, м;

n – кількість поверхів будинків в районі, що розглядається.

Для житлових кварталів першого та третього районів при $n=9$ $H_{віл.потр.і}$=42 м, для житлових кварталів другого району при $n=5$ $H_{віл.потр.і}$=26 м.

При пожежі необхідний тиск у невигідній точці $H_{віл.потр.і}$ = 10 м [22, п. 6.3.5].

П’єзометричні позначки та вільні напори у вузлах для всіх режимів наведені на п’єзометричних картах та п’єзометричних лініях (листи №3-4 графічної частини роботи).

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ПЕРШОГО ПІДЙОМУ

4.1 Характеристика джерела водопостачання та умов надходження води

Джерелом водопостачання запроєктованого населеного пункту відповідно до генерального та ситуаційного планів є поверхневе водне джерело – річка**.**

Водозабірний вузол розміщено вище за течією відносно житлової забудови, що відповідає вимогам санітарної безпеки та дозволяє мінімізувати ризик потрапляння забруднень антропогенного походження у систему водопостачання. На ситуаційному плані передбачено організацію зони санітарної охорони джерела**,** яка обмежує господарську діяльність у безпосередній близькості до водозабірних споруд.

Вода з річки надходить до системи водопостачання через водозабірну споруду, розташовану на березі водойми. Конструктивне рішення водозабору забезпечує стабільний забір води при змінних рівнях у річці та захист обладнання від потрапляння наносів, сміття та плаваючих домішок. Прийнята схема водозабору відповідає умовам поверхневого джерела та передбачає можливість експлуатації у різні гідрологічні періоди року.

Після забору вода транспортується водоводом до майданчика очисних споруд, який розміщений поза межами житлової забудови з підвітряного боку території. Таке розташування забезпечує дотримання санітарно-гігієнічних норм та зменшує вплив технологічних процесів очищення на житлові квартали.

Очисні споруди призначені для доведення якості води поверхневого джерела до вимог питного водопостачання. Після очищення вода подається у водопровідну мережу населеного пункту за допомогою насосної станції другого підйому. Для забезпечення необхідного напору та вирівнювання режимів

водоспоживання у системі передбачено водонапірну башту, яка виконує функції регулюючої та аварійної ємності. Наявність башти дозволяє компенсувати нерівномірність водоспоживання протягом доби та підтримувати стабільний тиск у мережі.

Водоводи транспортують воду від очисних споруд до розподільчої мережі, яка охоплює три житлові райони та промислову територію. Планувальна структура мережі сформована з урахуванням конфігурації забудови та рельєфу місцевості. Кільцева схема трубопроводів забезпечує підвищену надійність системи, можливість резервування подачі води та безперервне водопостачання споживачів у разі аварійних ситуацій на окремих ділянках.

Умови надходження води в систему характеризуються такими основними факторами: наявність поверхневого джерела з достатнім водним ресурсом; сприятливе розташування водозабору відносно забудови; можливість самопливного або енергетично економного транспортування води до очисних споруд; централізована схема очищення та подачі води; використання регулюючих споруд для стабілізації гідравлічного режиму мережі.

Прийнята схема водопостачання забезпечує санітарну надійність, технологічну ефективність та перспективу подальшого розвитку населеного пункту. Розміщення основних елементів системи – водозабору, очисних споруд та водонапірної башти – відповідає вимогам чинних будівельних норм і дозволяє забезпечити споживачів водою необхідної якості та у потрібних об’ємах.

4.2 Розрахунок річищного режиму ріки

У створі водозабору русловий режим встановлено з урахуванням критеріальних швидкостей та показника рухливості матеріалу русла – параметра, що характеризує умови грядоутворення.

Показник рухливості матеріалу русла розраховується за формулою:

$$K_п = \sigma / U, \quad (4.1)$$

де σ – гідравлічна крупність матеріалу русла, м/с; для крупних пісків σ =100 мм/с=0,10 м/с .

U – динамічна швидкість потоку, розрахована за формулою:

$$U = \sqrt{g \times H \times J}, \quad (4.2)$$

де g – прискорена сила тяжіння, g=9,81 м/с^2;

H –глибина потоку, м;

J – ухил річкових відкладень.

$$U = \sqrt{9{,}81 \times 11 \times 0{,}0001} = 0{,}1039 м/с.$$

Тоді $K_п = 0{,}10 / 0{,}1039 = 0.96$

Значення задовольняє умові $K_п = 0{,}75 - 1{,}0$, русло можна вважати рівноважним, таке русло не потребує закріплення.

Параметр, який характеризує умови грядоутворення, визначається за формулою:

$$A_s = v_j / \left[\left(\sqrt{1.1 \times g \times H_i / \alpha} (d / H_i \right)^{0.25} \right], \quad (4.3)$$

де v_j – швидкість руху води в річці в даний період, м/с;

H_i – глибина води в річці, м;

α – повний коректив живої сили на нерівномірний розподіл швидкостей і їх пульсацію, α =1,5-2,0;

d – діаметр часток наносів, м.

$$A_{мін} = 0{,}35/\left[\sqrt{1{,}1\times 9{,}81\times 6{,}5/2}\times(0{,}001/6{,}5)^{0{,}25}\right] = 0.53,$$

$$A_{мах} = 1{,}25/\left[\sqrt{1{,}1\times 9{,}81\times 11/2}\times(0{,}001/11)^{0{,}25}\right] = 1.66$$

Так як $A_i \le 1.66$, то грядоутворення в руслі ріки відсутнє.

Шугольодовий режим оцінюється по критеріальним швидкостям. Так як швидкість течії при транспорті шуги $V = 0.3 \le 0.5 м/с$ (перша критеріальна швидкість), то шугольодові ускладнення виключаються, тому що шуга спливає на поверхню води.

При другій критеріальній швидкості шуга транспортується не тільки по поверхні води, але може частково занурюватись під лід. Друга критеріальна швидкість визначається за формулою:

$$V_{k2} = 0.7 + 0.06H_p, \tag{4.4}$$

де H_p – розрахункова глибина потоку при шугоході, м:

$$H_p = 0{,}7\times H_{макс}, \tag{4.5}$$

де $H_{макс}$ – максимальна глибина води в річці, м

$$H_p = 0{,}7\times 14 = 9{,}8м$$

$$V_{k2} = 0.7 + 0.06\times 9{,}8 = 1{,}29 м/с$$

Так як швидкість в річці не перевищує другу критеріальну швидкість, то ускладнень забору води через шугу не буде.

4.3 Розрахунок елементів водозабору

4.3.1 Вибір і обгрунтування типу водозабірних будівель

Тип водозабірної будівлі приймається з урахуванням гідрологічних, гідравлічних та геологічних умов водного об'єкта, коливань рівнів води, характеристик русла та вимог до безперебійності водопостачання. Як видно з рельєфу місцевості (лист№4), дно та берег ріки досить пологі і достатні для забору води глибини знаходяться на значній відстані від берега. До розрахунку приймаються водозабірні споруди річищного типу, які складається з оголовку, самопливних водоводів, берегового колодязя та насосної станції першого підйому.

4.3.2 Розрахунок оголовку

Приймається залізобетонний розтрубний захищений оголовок з боковим надходженням води. Оголовок обладнаний гратами, сумарна площа яких визначається по формулі:

$$\Omega_{гр} = 1{,}25 \times q_p \times K_{ст} / \mathrm{V}_{вт} \qquad (4.6)$$

де q_p – розрахункова витрата оголовку, q_p =0,687 м^3/с;

$\mathrm{V}_{вт}$ – швидкість втікання води у водоприймальні отвори, м/с, $\mathrm{V}_{вт}$=0,25 м/с [1,п. 9.2.16];

$K_{ст}$ -коефіцієнт, що враховує стиснення отворів стержнями грат:

$$K_{ст} = (a_{ст} + c_{ст}) / a_{ст} ,, \quad (4.7)$$

де $a_{ст}$ –відстань між стержнями в просвіті, мм;

$c_{ст}$ –товщина стержнів, мм.

$$K_{ст} = (100+12)/100 = 1{,}12 ,$$

$$\Omega_{гр} = 1{,}25 \times 0{,}687 \times 1{,}12 / 0{,}20 = 4.81 м^2 .$$

Приймаються 2 стандартні грати розміром 1250×2000. Площа вікна однієї грати – 2,5 м^2 .

Оголовок встановлюється на мінімальній відстані від урізу води при рівні низьких вод, де глибина достатня для дотримання умови:

$$H_{мін} = 2{,}0 + 0{,}5\mathrm{h}_{\mathrm{р}} + 0{,}5\mathrm{h}_{\mathrm{в}} + 0{,}8, \quad (4.8)$$

де $\mathrm{h}_{\mathrm{р}}$ – висота прийнятих грат, м;

$\mathrm{h}_{\mathrm{в}}$ – висота хвилі, м.

$H_{мін} = 2{,}0 + 0{,}5 \times 2{,}0 + 0{,}8 = 3.80 м$.

Оголовок встановлюється на глибині 6,5 м (відносно низького рівня).

4.3.3 Розрахунок самопливних водоводів

Довжина самопливних ліній - це відстань між оголовком та береговим колодязем. Місце розташування берегового колодязя вибрано на позначці, що перевищує позначку рівня верхніх вод на величину, не менше, м:

$$H_к = 0{,}5 \times h_в + 0{,}5 \quad (4.9)$$

$$H_к = 0{,}5 \times 0{,}3 + 0{,}5 = 0{,}65м.$$

Береговий колодязь встановлюється на позначці 60,0 м, що на 1 м вище рівня верхніх вод, тоді довжина самопливних ліній становить $l = 112м$. До розрахунку приймаються дві самопливні лінії (обидві робочі), витрата однієї дорівнює:

$$q = 0.687 / 2 = 0.344м^3 / с$$

З огляду на швидкості, що рекомендовані [1,п. 9.2.23, табл.14], приймаються самопливні лінії Д=600 мм, v=1,15 м/с, 1000i= 2,70.

Незамулюваність самопливних ліній перевіряється за формулою:

$$\rho \le 0{,}11(1 - \frac{\sigma_{сер}}{\mathrm{u}_1})^{4,3} V_{сер}^3 (\mathrm{g} \times \sigma_{\mathrm{сер}} D), \quad (4.10)$$

де ρ – мутність води водойми, кг/м^3;

$\sigma_{\mathrm{сер}}$ – середньозважена гідравлічна крупність часток, м/с;

$V_{ср}$ – середня швидкість руху води в трубопроводі, м/с;

D – діаметр самопливної лінії, мм;

u_1 – швидкість, яка визначається за формулою:

$$u_1 = \sqrt{g} \times \mathrm{V}_{\mathrm{сер}} / C, \quad (4.11)$$

де C – коефіцієнт Шезі:

$$C = (Д / 4)^{4,3} / n, \quad (4.12)$$

де n – коефіцієнт шорсткості, для «забруднених» водопровідних труб приймається 0,014.

$$C = (0.60/4)^{4,3} / 0.014 = 0.02$$

$$u_1 = \sqrt{9.81} \times 1.15/0.02 = 180,1$$

Тоді

$$\rho \le 0,11 \cdot (1 - \frac{0.10}{180,1})^{4.3} \cdot 1.15^3 / (9.81 \times 0.10 \times 0.6) = 0.28$$

$0,13 \le 0,91$, тобто у самопливних лініях розрахункова швидкість при нормальній роботі забезпечує їх незамулюваність.

Повні втрати напору у самопливних лініях визначаються за формулою:

$$h = i \times L + (\sum \xi \times V_s^2 / 2g), \qquad (4.13)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору;

L –довжина самопливної лінії, м;

V – швидкість руху води в самопливній лінії, м/с

$$h = 0.0027 \times 112 + (1.1 \times 1.15^2 / 2 \times 9.81) = 0.38м$$

4.3.4 Розрахунок сіток

Швидкість руху води в отворах сітки приймається 0,25 м/с. Коефіцієнт стиснення визначається за формулою:

$$K_{cm} = \left[(a_{cm} + c_{cm})/c_{cm}\right]^2 \qquad (4.14)$$

$$K_{cm} = \left[(1,2 + 2)/2\right]^2 = 2,56.$$

Загальна площа сіток визначається за формулою (4.6):

$$\Omega_{сіток} = 1{,}25 \times 0{,}687 \times 2{,}56 / 0{,}25 = 8{,}79 м^2$$

До установки приймається 4 плоскі сітки площею 2,25 м^2 кожна з розмірами в плані 1500×1500 мм.

4.4 Розрахунок основного і допоміжного обладнання насосної станції І-го підйому

Проєктується водозабірна будівля, комбінована з насосною станцією І-го підйому. Розрахункова витрата напірного водоводу становить:

$$Q_{н.в.} = Q_{макс.н.ст.} / n_{н.в.}, \quad (4.15)$$

де $n_{н.в.}$ – кількість напірних водоводів, шт.

$$Q_{н.в.} = 0{,}687 / 2 = 0{,}344 м^3 / с$$

Згідно із таблицями для гідравлічного розрахунку приймається напірний водовід з наступними характеристиками:

Д=600 мм; V=1,15 м/с; 1000i=2,7.

Втрати напору в напірному водоводі:

$$h_{н.в.} = 1{,}1 \times i \times \mathrm{L} = 1.1 \times 0.0027 \times 250 = 0{,}74 м$$

Розрахункова витрата всмоктувального водоводу:

$$Q_{н.в.} = 0{,}687 / 2 = 0{,}344 м^3 / с$$

Згідно із таблицями для гідравлічного розрахунку приймається всмоктувальний водовід з наступними характеристиками:

Д=600 мм; v=1,15 м/с, 1000i= 2,70, що задовольняє вимогам [1, табл. 34].

Втрати напору у всмоктувальному водоводі при довжині його 5 м

: $h_{в.в.} = 1{,}1 \times i \times \mathrm{L} = 1.1 \times 0.00270 \times 5.0 = 0.01485$

Необхідний напір насосів складе:

$$H = H_{ст.} + h_{в.в.} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{вил}, \quad (4.16)$$

де $H_{ст.}$ – статичний напір, тобто різниця позначок рівнів надходження води у змішувачі та біля всмоктувальних водоводів у приймальному відділенні берегового колодязя, $H_{ст.}$=12,0 м;

$h_{н.с.}$ – втрати напору у всмоктувальних та напірних трубопроводах насосної станції, $h_{н.с.}$=2,0 м;

$h_{â.â.}$ – втрати напору у всмоктувальних водоводах

$h_{вдм}$ – втрати напору у водомірі, $h_{вдм}$=1,5м;

$h_{н.в.}$ – гідравлічні втрати у напірному водоводі, $h_{н.в.}$=0,74 м;

$h_{вил}$ – запас напору на вилив, $h_{вил}$=1,0 м.

$$H = 12{,}0 + 2 + 1{,}5 + 0{,}74 + 0{,}015 + 1{,}0 = 17{,}3м.$$

Приймаються насоси марки Д2000-21 (2 робочих та 2 резервних) [24].

Для видалення осаду із приймальних камер приймається насос СД-16/25 [25], для видалення дренажної води встановлюється насос ВКС 4/24 [26],

В якості вантажопідйомного обладнання приймається кран-балка з електроприводом вантажопідйомністю 3,2 т і кран мостовий радіальний вантажопідйомністю 5,0 т [27].

4.5 Визначення розмірів водозабірних будівель

Позначка рівня води в приймальному відділенні визначена по формулі:

$$Z_{в.пр.} = Z_{РНВ} - \sum h, \quad (4.17)$$

де $Z_{РНВ}$ – позначка низького рівня води в джерелі, м;

$\sum h$ – сумарні втрати в самопливних лінії при відключенні другої лінії:

$$\sum \text{h} = 1.1 \times 0.107 \times 1120 = 1.32 м.$$

$$Z_{в.пр.} = 56 - 1.32 = 54{,}68 м$$

Позначка рівня води у відділенні всмоктувальних труб:

$$\text{Z}_{\text{в.вс.}} = \text{Z}_{\text{в.пр.}} - \text{h}_{\text{с}}, \quad (4.18)$$

де $\text{h}_{\text{с}}$ – втрати напору в сітках, $\text{h}_{\text{с}}$=0,1 м.

$$\text{Z}_{\text{в.вс.}} = 54{,}68 - 0{,}1 = 54{,}58 м$$

Так як кінці самопливних ліній обладнані засувками, то позначка дна приймального відділення становить:

$$Z_{д.пр.від.} = Z_{в.пр.} - Z_c - Д_c - \text{h}_1, \quad (4.19)$$

де Z_c – глибина занурення самопливних ліній під рівень води, 0,5 м;

$Д_c$ – діаметр самопливних ліній, м;

h_1 – запас на накопичення осаду, h_1=0,8 м,

$$Z_{д.пр.від.} = 54{,}68 - 0{,}5 - 0{,}6 - 0{,}8 = 52{,}78 м.$$

Для забезпечення пропуску води через сітки позначка дна приймального відділення при використанні плоских сіток повинна бути:

$$Z_{д.пр.від.} = Z_{в.пр.} - H_c - 0.5 \quad (4.20)$$

де H_c – висота сітки, м

$$Z_{д.пр.від.} = 54{,}68 - 1{,}5 - 0{,}5 = 52{,}68 м.$$

Позначка дна відділення всмоктувальних труб при горизонтальному їх розташуванні:

$$Z_{д..від.вс.} = Z_{в.вс.} - 3.8Д_{вх} = Z_{в.вс.} - 5{,}7Д_{вс} \quad (4.21)$$

де $Д_{вс}$ – діаметр всмоктувального трубопроводу,м

$$Z_{д..від.вс.} = 54{,}58 - 5{,}7 \times 0{,}6 = 51{,}16 м$$

За розрахункову позначку дна берегового колодязя приймається 51,16 м, глибина колодязя 8,8 м.

4.6 Санітарна охорона водозабірних будівель

Перший пояс зони санітарної охорони поверхневого джерела включає ділянку річки в районі водозабору, а також територію розміщення водоприймальних споруд. Дана зона підлягає обов'язковому огородженню та

благоустрою із виконанням озеленення території. В межах першого поясу забороняється здійснення будь-якого будівництва, скид стічних вод, вилов риби, застосування хімічних речовин та інші види діяльності, що можуть призвести до погіршення якості води. Акваторія водозабору позначається спеціальними плавучими знаками (бакенами). Відповідно до нормативних вимог межі першого поясу встановлюються, як показан на листі №4 графічної частини кваліфікаційної роботи: вище за течією річки – не менше 200 м від місця водозабору; нижче за течією – не менше 100 м; уздовж прилеглого берега – не менше 100 м від урізу води при максимальному рівні; у напрямку акваторії водойми – не менше 100 м від водоприймальної споруди. Межі зони першого поясу санітарної охрни показано на рисунку 4.1

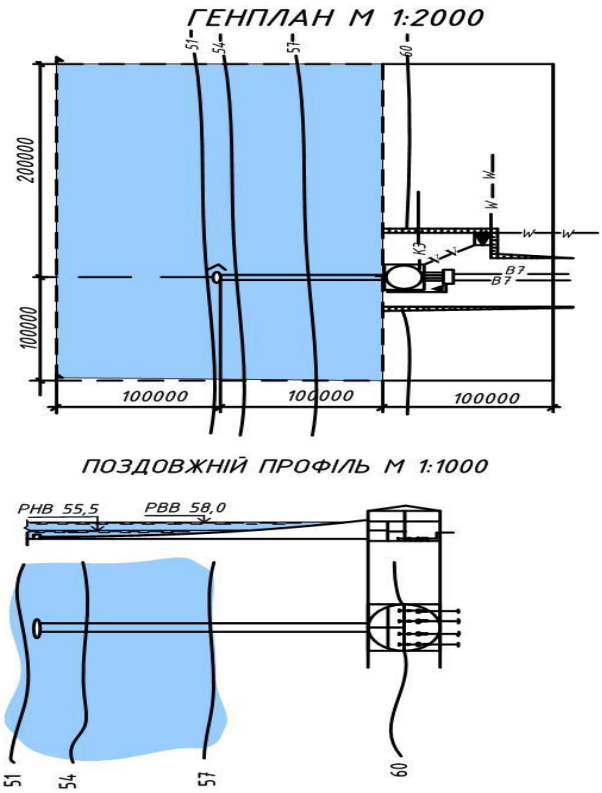


Рисунок 4.1 – Розташування водозабірні будівлі з урахуванням першого поясу зони санітарні охорони

Розміри другого поясу санітарної охорони визначаються з урахуванням гідрологічних характеристик водотоку, зокрема середньої швидкості течії та часу переміщення води від межі пояса до водозабору. Розрахунок виконується для умов середньомісячної витрати води літньо-осінньої межені із забезпеченістю 95 %, при цьому тривалість добігання води приймається не меншою ніж три доби. Межа другого поясу у верхній частині течії визначається розрахунковим шляхом залежно від швидкості руху води та часу її проходження до водозабірної споруди.

Нижче за течією межа другого поясу приймається не меншою ніж 250 м, а бокові межі – на відстані до 500 м від урізу води при літньо-осінній межені для рівнинних територій. Межа другого поясу уверх за течією визначається за формулою:

$$L_2 = v \times t \,, \tag{4.22}$$

де v – швидкість руху води в річці, м/с;

t – час добігання води від межі поясу до водозабору при середньомісячній витраті води у літньо-осінню межень при 95% забезпеченості.

$$L_2 = 0{,}35 \times 3 \times 24 \times 3600 = 90720 м \approx 90{,}72 км .$$

Межі третього поясу санітарної охорони встановлюються аналогічно другому поясу за напрямками течії річки, тоді як бокові межі визначаються по вододілу на відстані до 5 км.

Контроль за дотриманням режиму зон санітарної охорони поверхневих джерел водопостачання та водозабірних споруд здійснюється відповідними органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

4.7 Розрахунок регулювальних місткостей

4.7.1 Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуарів чистої води визначено за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{ш.ф.} + W_{п}\ , \qquad (4.23)$$

де $W_{рег}$ – регулюючий обєм РЧВ, $м^3$;

$W_{ш.ф.}$ – об єм води, необхідний для промивки швидких фільтрів, $м^3$;

$W_{п}$ – об'єм недоторканого пожежного запасу, $м^3$.

Розрахунок регулювальної місткості резервуарів чистої води показано за формою таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення регулюючого об'єму резервуарів

Години доби	Відбір насосами,%	Надходження з очисних споруд,%	Надходження в РЧВ, %	Відбір з РЧВ,%	Залишок у РЧВ,%
1	2	3	4	5	6
0-1	1,9	4,17	2,27		2,27
1-2	1,9	4,17	2,27		4,54
2-3	1,9	4,17	2,27		6,81
3-4	1,9	4,17	2,27		9,08
4-5	1,9	4,17	2,27		11,35
5-6	5,1	4,17		0,93	10,42
6-7	5,1	4,17		0,93	9,49
7-8	5,1	4,17		0,93	8,56
8-9	5,1	4,17		0,93	7,63
9-10	5,1	4,17		0,93	6,70
10-11	5,1	4,17		0,93	5,77
11-12	5,1	4,17		0,93	4,84

12-13	5,1	4,17		0,93	3,91
13-14	5,1	4,17		0,93	2,98
14-15	5,1	4,17		0,93	2,05
15-16	5,1	4,17		0,93	1,12
16-17	5,1	4,16		0,94	0,18
17-18	5,1	4,16		0,94	-0,76
18-19	5,1	4,16		0,94	-1,70
19-20	5,1	4,16		0,94	-2,64
20-21	5,1	4,16		0,94	-3,58
21-22	5,1	4,16		0,94	-4,52
22-23	1,9	4,16	2,26		-2,26
23-24	1,9	4,16	2,26		0
	100	100	9,33	9,33	

$W_{рег}$ = 59397,2×(/-4,52/+11,35)/100=9426,3 м^3.

$Q_п$ =3(40+5)+*0,5*(20+15)=152,5 л/с.

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

$$W_n = t \cdot Q_{пож} + \sum Q_{макс} - Q_1, \quad (4.24)$$

де $Q_{пож}$ – повна пожежна витрата, $м^3$:

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times m \times q_{пож}}{1000}, \quad (4.25)$$

де m – число одночасних пожеж, m =3;

$Q_{пож}$=40л/с – розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння;

t – тривалість пожежогасіння, 3 год.

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times 3 \times 40}{1000} = 432 м^3$$

$\sum Q_{макс}$ – сумарна витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, $м^3$;

$$\sum Q_{макс} = 3452,1+3239,8+3172,0=9863,9 \text{ м}^3$$

Q_1 – витрата води, що знаходиться за формулою:

$$Q_1 = 4.17 \times Q \times t \quad (4.26)$$

$$Q_1 = 4.17 \times 59397,2 \times 3/100 = 7430,6 м^3$$

Об'єм води, необхідний для 2 промивок швидкого фільтру:

$$W = 2 \times q_{їð} \times t_{їð} \times 60 \quad (4.27)$$

$$W_{ш.ф.} = 2 \times 0,864 \times 8 \times 60 = 829,4 м^3$$

Тоді

$$W_n = 3 \times 432 + 9863,9 - 7430,6 = 3729,3 \ м^3$$

$$W_{РЧВ} = 9426,3 + 829,4 + 3729,3 = 13985,04 м^3$$

Приймаються 3 резервуари чистої води місткістю 4860 $м^3$ з розмірами 30×36м та висотою 4,5 м (висота шару води 4,32 м).

4.7.2 Розрахунок місткості водонапірного баку

Режим роботи насосної станції другого підйому прийнято з урахуванням графіку водоспоживання міста, режиму роботи станції та максимально наближено до режиму водоспоживання населенням (таблиця 2.6, рисунок 4.2). Приймається два ступеня роботи насосної станції другого підйому: перший з 22^{00}

до 5^{00} год (7 годин час насосами подається 2,14% від добовой витрати Qдоб) та другий – з 5^{00} до22^{00} год (17 годин насоси подають 5,0% від Qдоб),. Результати розрахунку приводяться в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок регулювальної місткості баку

Години доби	Водоспоживання міста,%	Подача насосів,%	Витрата з баку,%	Подача в бак,%	Залишок,%
1	2	3	4	5	6
0-1	1,98	2,14	0,04	0,16	0,16
1-2	1,76	2,14		0,38	0,54
2-3	1,76	2,14		0,38	0,92
3-4	1,76	2,14		0,38	1,30
4-5	2,42	2,14	0,28	0	1,02
5-6	4,08	5,00			1,94
6-7	5,38	5,00	0,38		1,56
7-8	**6,04**	5,00	**1,04**		**0,52**
8-9	5,67	5,00	0,67		-0,15
9-10	5,55	5,00	0,55		-0,70
10-11	5,52	5,00	0,52		-1,22
11-12	5,52	5,00	0,52		-1,74
12-13	4,71	5,00		0,29	-1,45
13-14	4,70	5,00		0,30	-1,15
14-15	5,03	5,00	0,03	0	-1,18
15-16	5,36	5,00	0,36		-1,54
16-17	5,61	5,00	0,61	0	-2,15
17-18	5,03	5,00	0,03		-2,18
18-19	4,70	5,00		0,30	-1,88
19-20	5,38	5,00	0,38		-2,26
20-21	4,42	5,00		0,58	-1,68
21-22	3,76	5,00		1,24	-0,44
22-23	2,09	2,15		0,06	-0,38
23-24	1,77	2,15		0,38	0
Всього	100	100		3,14	

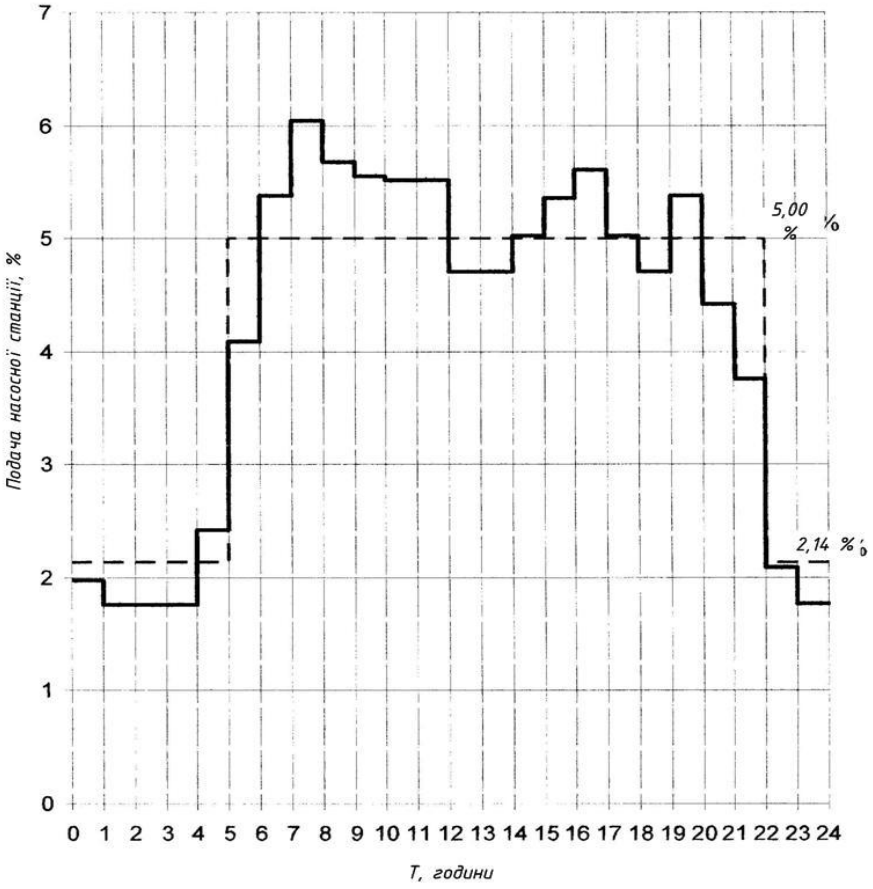




Рисунок 4.2 – Вибір режиму роботи насосної станції другого підйому

Повна місткість водонапірного баку:

$$W_{б} = W_{рег} + W_{н.з.}, \tag{4.28}$$

де $W_{рег}$ – регулювальна місткість водонапірного баку, м^3 (табл.4.2);

$W_{рег} = |-2{,}26| + |1.94| = 4{,}2\%$;

$W_{н.з.}$. – недоторканий запас води в баку, рівний 10-хвилинній тривалості гасіння однієї зовнішньої та однієї внутрішньої пожежі, м^3.

$$W_{н.з..} = 0{,}6 \left(q_{н} + q_{вн}, \right), \tag{4.29}$$

де $q_{н}, q_{вн.}$ – відповідно витрата води на зовнішнє та внутрішнє пожежегасіння в місті, табл. 5 [1].

$$W_{н.з.} = 0{,}6 \times (40+5) = 27 \text{ м}^3$$

$$W_{рег} = W \times Q_{заг} / 100, \tag{4.30}$$

$$W_{рег} = 4{,}2 \times 57112{,}7/100 = 2398{,}7 \text{ м}^3$$

$$W_{б} = 2398{,}7 + 27 = 2425{,}7 \text{ м}^3$$

Діаметр баку водонапірної башти:

$$D_{б} = \sqrt[3]{W_{б} / 0{,}55} \tag{4.30}$$

$$D_{б} = \sqrt[3]{2425{,}7 / 0{,}55} = 16.4 м$$

Висота шару води в баці:

$$H_{б} = 4W_{б} / (\pi D_{б}^2) \tag{4.31}$$

$$H_{б} = 4 \times 2425{,}7 / (3{,}14 \times 16.4^2) = 11{,}5 м .$$

З урахуванням необхідного будівельного запасу загальна висота баку приймається 12 м. Діаметр водоводів від мережі д башти визначається витратою рівною 1,04% від $Q_{доб}$ або 165,7 л/с. При двох робочих водоводах витрата кожним становить82,9 л/с. Прийнято водоводи діаметром D=300 мм, швидкість руху води v=1,09 м/с, ухил i=0,00590.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ

5.1 Визначення розрахункової подачі насосів II підйому

Робота насосної станції передбачена у двоступеневому режимі експлуатації. Величина годинної подачі насосної станції на кожному ступені встановлюється за розрахунковою формулою:

$$Q_{i\ н.ст}=Q_{доб}\times P_i/100, \quad (5.1)$$

де Q, P_i – подача і-го ступеня у відсотках від добової витрати та в $м^3$ відповідно.

Для першого ступеня:

$$Q_1=57112{,}79\times 2{,}14/100=1222{,}2\ м^3/год=339{,}5\ л/с;$$

для другого ступеня:

$$Q_2=57112{,}7\times 5{,}0/100=2855{,}6\ м^3/год=793{,}2\ л/с.$$

На першому ступені необхідна продуктивність досягається роботою двох насосів, а на другому – п’яти насосних агрегатів. Підключення насосного обладнання передбачене за паралельною схемою. Продуктивність одного насоса – 1.1%: Qн=57112,7×1,1/100=628,2 $м^3/год$=174,5 л/с.

5.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів

Відповідно до вимог нормативних рекомендацій [22, п. 11.4], на водопровідних насосних станціях I та II категорій надійності, незалежно від кількості встановлених груп насосів, у тому числі пожежних, передбачається влаштування не менше двох всмоктувальних ліній. У разі відключення однієї з ліній інша повинна забезпечувати пропуск розрахункової витрати води, передбаченої для насосних станцій зазначених категорій надійності.

Всмоктувальні трубопроводи приймаються зі сталевих труб.

Розрахункова витрата води для кожного всмоктувального водоводу визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$Q_{вс.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/(n_{вс}-1), \quad (5.2)$$

де $Q_{макс.\ н.\ ст}$ – максимальна подача насосної станції, л/с;

$n_{вс}$ –кількість всмоктувальних водоводів

$$Q_{вс.в}=793{,}2\ /(2-1)=793{,}2\ л/с.$$

Приймаються водоводи діаметром Д=800 мм, v=1,563 м/с, 1000i=3,44, що відповідає вимогам [22, п.11.8, табл.36].

Число напірних водоводів приймається рівним 2 [22, п.7.6]. Розрахункова витрата води по кожному з водоводів:

$$Q_{н.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/n_{н}, \quad (5.3)$$

де $n_н$ – кількість напірних водоводів.

$$Q_{н.в}= 793,2 /2=396,6 \text{ л/с}$$

Приймаються сталеві напірні водоводи діаметром Дн=600 мм, v=1,33 м/с, 1000i=3,56, що відповідає вимогам [22, п.11.8, табл.36].

5.3 Визначення розрахункового напору насосів

Для попереднього розрахунку необхідний напір насосів визначається за формулою:

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{м}, \quad (5.4)$$

де $H_{ст}$ – статичний напір, м;

$h_{н.с.}$ – сумарні втрати напору у всмоктувальних і напірних комунікаціях насосної станції, $h_к$ –2,0 м;

$h_{в.в}$ – втрати напору у всмоктувальних водоводах для найбільшої кількості води, яку перекачує насосна станція, м;

$h_{вдм}$ – втрати у водомірі, $h_з$ =1,5 м;

$h_{н.в.}$ – втрати напору у напірних водоводах для найбільшої кількості води, яку перекачує насосна станція, м;

$h_м$ – втрати напору у мережі при подачі максимальної витрати, м.

Статичний напір:

$$H_{ст} = Z_2 - Z_1, \quad (5.5)$$

де Z_2 – абсолютна максимальна позначка підйому води, Z_2=146,4м;

Z_1 – абсолютна мінімальна позначка в РЧВ для випадку пожежегасіння, Z_1=80,0 м.

$$H_{ст} = 124{,}05 - 59{,}33 = 64{,}72 м$$

Втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальному водоспоживанні розраховані по формулі

$$h_{в.в} = 1{,}1 \times i \times l, \quad (5.5)$$

де i – питомі втрати напору;

l – довжина водоводу.

$h_{в.в}$=1,1×0,00344×20=0,076 м;

Втрати напору у напірних водоводах при максимальному водоспоживанні:

$h_{н.в} = 1{,}1 \times 0{,}00356 \times 1500 = 5{,}87 м;$

$$H_2 = 64{,}72 + 2{,}0 + 0{,}041 + 5{,}87 + 1{,}0 = 73{,}63 м.$$

На першому ступені $h'_{н.в}$=1,1×0,00073×1500=1,2 м.

$$H_1 = 64{,}72 + 2{,}0 + 0{,}076 + 1{,}20 + 1{,}0 \approx 69 м.$$

5.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні

Розрахункова подача насосної станції при пожежі:

$$Q'_{н.ст}=Q_{н.ст.}+Q_п, \quad (5.6)$$

де $Q_{н.ст.}$ – розрахункова подача насосної станції з урахуванням зниження споживання при пожежі, $Q_{н.ст.}$ =958,9 л/с;

$Q_п$ – розрахункова витрата на пожежогасіння, $Q_п$ = 145 л/с, тоді $Q_{н.ст.}$ =1103,9 л/с.

Напір насосів при пожежогасінні:

$$H_п = Zн.т.+Нв+hв.п+ hм.п.-Zр, \quad (5.7)$$

де $Zн.т$ – абсолютна позначка невігідної точки при пожежі, $Zн.т$=72,0 м;

$Нв$ – вільний напір в невигідній точці при пожежі, $Нсв$=10 м;

$hв.п$ – втрати напору у водоводах при пожежі,

$$hв.п =1,1×0,00689×1500=11,37 м;$$

$hм.п$ – втрати напору в мережі від невигідної точки до точки підключення водоводів до мережі, $hм.п$=26,72 м;

$Zр$ –абсолютна позначка дна резервуару, $Zр$=58,18 м.

$H_{п}$ =72+10+11,37+26,72-58,18=61,91*l м.*

З урахуванням того, що розрахунковий напір для режиму максимального водоспоживання є більшим за напір, необхідний для пожежогасіння ($H \geq Hn$), експлуатація насосної станції в пожежному режимі може здійснюватися тими ж насосними агрегатами, які прийняті для максимального водоспоживання, при їх роботі зі зниженим напором.

5.5 Підбір насосів та електродвигунів до них

Подача першого (Q_1=339,5 л/с) та другого ступеня (Q_2 = 793,2 л/с) та необхідний напір H забезпечуються роботою на I ступені двох, а на II ступені паралельною роботою п’яти насосів марки Д 630-90 (n=1450 об/хв) .

В машинному залі насосної станції встановлюється 5 робочих та два резервних насоси марки Д 630-90 [22, п.11.2, табл.35], робочі характеристики насосів показані на рис. .

Необхідна для приводу насосу потужність визначається за формулою:

$$p_{н} = \kappa \times \rho \times q \times Q_{м} \times H_{м} / 1000 \times \eta_{H} \times \eta_{п}, \qquad (5.8)$$

де κ – коефіцієнт запасу, рівний 1,1;

ρ – густина рідини, кг/м^3, ρ = 1000кг/м^3;

$Q_{м}$ – подача насосу, м^3/с, 0,1745 м^3/с [29],

$H_м$ – напір насосу, $H_м$=73,6 м;

η_H – ККД насосу, що відповідає Q , η_H =0,78 [295];

η_n – ККД передачі, η_n =1 [29];

Потужність, що необхідна для приводу насосу, визначена за формулою

$$p_н = 1{,}1 \times 1000 \times 9{,}8 \times 0{,}1745 \times 73{,}6 / (1000 \times 0{,}78 \times 1) \approx 177{,}7 кВт$$

Приймається електродвигун марки АИР315М4 потужністю N=200 кВт [29].

5.6 Визначення позначок осі насосу та підлоги насосної станції

З урахуванням значної глибини залягання підземних вод корпус насосів насосної станції другого підйому запроєктовано з розміщенням під заливом відносно рівня пожежного запасу води, що зберігається у резервуарі.

Позначка верха насосу:

$$Zв.н = Zпож. - (0{,}3 \div 0{,}5), \quad (5.9)$$

де $Zпож$ – позначка пожежного рівню у РЧВ, м, Zпож=59,33 м;

$$Zв.н = 59{,}33 - 0{,}33 = 59{,}00 \ м$$

Позначка вісі насосу:

$$Zвс = Zв.н. - A, \quad (5.10)$$

де *А* – висота насосу від верха до вісі, 0,585м.

$$Zвс=59,00-0,45=58,55\ м$$

Позначка верха фундаменту:

$$Zф= Zвс-Ал, \quad (5.11)$$

де Ал – висота насосу від вісі до лап, м.

$$Zф=58,55-0,585=57,96\ м.$$

Висота фундаменту приймається 0,5 м, тоді відмітка підлоги:

$$Zп=57,96-0,5=57,46\ м.$$

Мінімальне заглиблення насосної станції повинно складати:

$$h=62,5-57,46=5,04\ м.$$

Заглиблення фундаменту приймається 0,5 м.

5.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідіймального обладнання

В насосній станції мінімальна висота машинного залу визначається за формулою:

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+0,5, \quad (5.12)$$

де h_1 – висота монорельсу, h_1 =0,38 м, приймається з урахуванням 0,1 м до низу перекриття;

h_2 – мінімальна висота від крюка до низу монорельсу, h_2 =0,755 м;

h_3 – висота строповки вантажу, h_3 =0,5 м;

h_4 – висота вантажу, м, h_4 =2,54 м;

h_5 – максимальна висота встановленого обладнання, h_5 =2,41 м.

$$H=1,0+0,755+0,5+1,035+1,535+0,5 =5,33 м.$$

Висоту машинного залу прийнято рівною 5,4 м. З урахуванням того, що маса основного технологічного обладнання перебуває в межах 1000–5000 кг, для виконання монтажних і ремонтних робіт передбачено використання підіймально-транспортного обладнання у вигляді кран-балки з ручним електроприводом.

5.8 Аналіз режиму роботи насосів та уточнення їх робочих характеристик

Характеристики трубопроводів розраховані за формулою, м:

$$H_i = (S_k+1.1\times i\times l)\times Q_i^2 + H_г, \quad (5.13)$$

де H_i – необхідний напір при і-ій витраті, м;

Q – витрата води, л/с;

l – довжина водоводу, м;

$H_{гк}$ – геометрична висота підйому, м;

S_k – усереднений опір комунікацій насосної станції:

$$S_k = h_k/Q^2 \quad (5.14)$$

Розрахунки зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок характеристики водоводів (режим максимального водоспоживання)

Показники	Значення показників для Qi				
1	2	3	4	5	6
Q, м/с³	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500
1000i	0,28	0,99	2,09	3,56	5,65
1,1×i×l	0.46	1.63	3.45	5.87	9.32
S_k	19,07				
$(S_k+1,1\times i\times l)\times Q^2$	0.20	0.83	2.03	3.92	7.10
Нгн	64,72				
Нін	64,92	65,55	66,8	68,6	71,8
Qпож, куб.м	0,100	0,250	0,400	0,552	0,600
1000i	0,28	1,49	3,62	6,89	8,14
1,1×i×l	0,46	2,46	5,97	11,37	13,43
S_k	9,85				
$(S_k+1,1\times i\times l)\times Q^2$	0,10	0,77	2,53	6,47	8,38
Нгн	50,54				
Нін	50,6	51,3	53,1	57,0	58,9

Характеристики насосів та водоводів показані на рис. 5.1.

Визначається коефіцієнт швидкохідності насосу для визначення ступеня обточки робочого колеса за формулою:

$$n_s = 3{,}65\frac{n\sqrt{Qp}}{H_p^{3/4}} \quad (5.15)$$

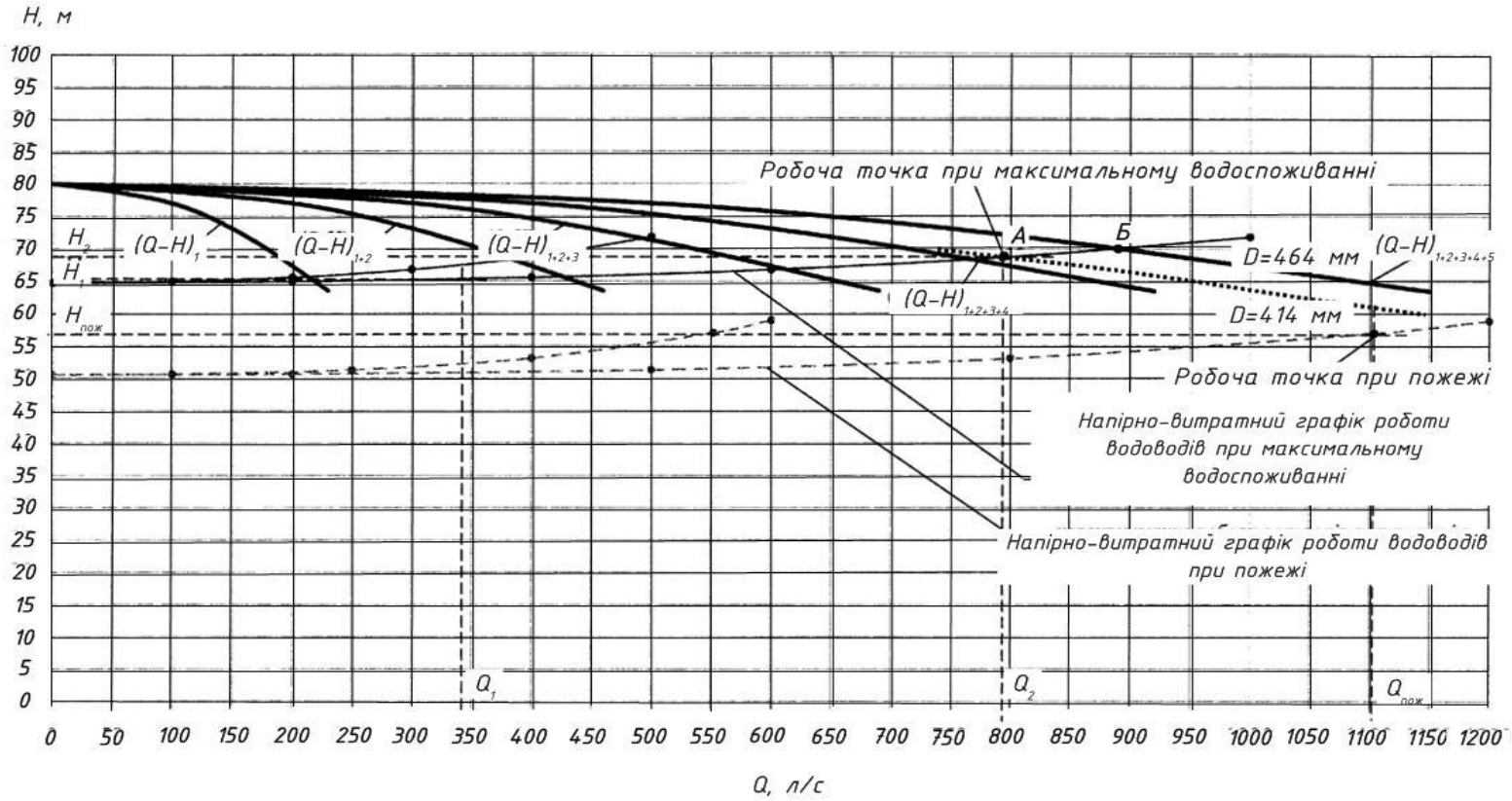


Рисунок 5.1 – Напірно-витратні графіки насосного обладнання та водоводів

де n – частота обертання робочого колеса, об/хв;Qp – подача насосу в оптимальній точці, для насосів з двостороннім підводом приймається половина подачі, м^3/с;

Hp – напір в оптимальній точці, м

$$n_s = 3{,}65\frac{1450\sqrt{630/(2\times 3600)}}{90^{3/4}} = 53{,}6$$

Для n_s $60-120$ допустиме значення обточки становить 20-15% [4].

Діаметр обточеного колеса визначається за формулою:

$$D_{об} = D\frac{Q_{об}}{Q} = \mathrm{D}\frac{\mathrm{Q_Б}}{\mathrm{Q_А}}, \qquad (5.16)$$

де D, Q – діаметр робочого колесу та його подача відповідно до обточки.

$$D_{об} = 464\frac{793{,}2}{890} = 414 мм$$

Обточка становить 10,8%, що не перевищує припустимі межі.

Таким чином, в насосній станції II підйому встановлюється 7 насосів марки Д630-90 (5 робочих та 2 резервних) [22, табл. 35].

В графічні частині роботи показані креслення насосної станції. при виконанні яких були використані матеріали [27, 28]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добровольська О., Курта О. М. Адаптація інженерних очисних об'єктів до екологічної ситуації в регіоні. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 9-10 трав. 2024 р. Запоріжжя, 2024. Запорізжжя: Видавничий дім "Гельветика", 2024. С. 770-773. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf10/zbirnyk_24.pdf.

2. Фостащенко О. М., Добровольська О., Курта О.М. Нормативні та санітарно-технічні заходи для інтеграції малих річок у структуру міських ландшафтів. Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки : матер. II Всеукр. наук.-практ. конф. за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти. (м. Запоріжжя, 28–30 жовтня 2025 р.). Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2025. С. 58-61.

3. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання. 2009. 785 с.

4. Добровольська О. Г. Міські інженерні мережі : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 106 с.

5. Добровольська О. Г. Насосні та повітродувні станції : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 91 с.

6. Tse H. Challenges for pumping station design in water industries: An overview of impacts from climate change and energy crisis. Water Res. Vol. 253/ 2024. doi: 10.1016/j.watres.2024.121250. URL:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135424001520?via%3Dihub

7. Sánchez-Ferrer D.S., Briceño-León C.X., Iglesias-Rey P.L., Martínez-Solano F.J., Fuertes-Miquel V.S. *Design of Pumping Stations Using a Multicriteria Analysis and the Application of the AHP Method*. Sustainability. 2021;13(11):5876. DOI: https://doi.org/10.3390/su13115876. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/5876

8. Кравчук О. А. Перспективи підвищення енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення в умовах економічних викликів і воєнних дій в Україні**.** Просторовий розвиток : науковий збірник / Гол. ред. О. Шкуратов. Київ : КНУБА, 2025. Вип. 11. С. 397-404. URI : https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.397-404 https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/17329 . URI : https://repositary.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3a724596-c728-49f5-ae66-2a85e2516975/content

9. Кравчук О., Андріященко О., Левітін В., Єремченко Л., Лаврухіна К. Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. Містобудування та територіальне планування. 2024. Вип. 85. С. 268–276. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276

10. Герасимов Г. Гідравлічні та аеродинамічні машини : підручник. Рівне. 2008. 241 с.

11. Попередження кавітації при експлуатації споруд водопостачання. (2024). *Комунальне господарство міст. Серія: «Інформаційні технології та інженерія»*, *3*(184), 174–178. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-174-178 URI : https://khgts.kname.edu.ua/index.php/khgts/uk/article/view/6321/6241

12. Панченко В. О. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій : навчальний посібник / В. О. Панченко, В. Ф. Герман, О. В. Івченко та ін. ; за загальною редакцією В. О. Панченка. Суми : Сумський державний університет, 2020. – 270 с. URI :https://files01.core.ac.uk/download/pdf/339162984.pdf

13. Семенов, А. О., В. О. Скрипник, Т. В. Сахно, і А. Г. Бут. «Оптимізація електроприводів насосних агрегатів систем водопостачання на основі частотного регулювання». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*, вип. 2(11), Грудень 2025, с. 91-95, doi:10.20998/EREE.2025.2(11).336220. URI : https://www.researchgate.net/publication/399214554_Optimization_of_pump_unit_electric_drives_in_water_supply_systems_based_on_frequency_control

14. Кравчук, О., Лаврухіна, К., Кострич, Б. (2025). Перспективи підвищення енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення в умовах економічних викликів і воєнних дій в Україні. *Просторовий розвиток*, (11), 397–404. URI : https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.397-404. URI : http://spd.knuba.edu.ua/article/view/348933/336028

15. Режими водоспоживання. URI : https://stud.com.ua/27715/tovaroznavstvo/rezhimi_vodospozhivannya

16. Gutiérrez-Bahamondes, J.H., Mora-Meliá, D., Iglesias-Rey, P.L., Martínez-Solano, F.J., Salgueiro, Y. Pumping Station Design in Water Distribution Networks Considering the Optimal Flow Distribution between Sources and Capital and Operating Costs. *Wate*r. 2021. Vol. 13. https://doi.org/10.3390/w13213098

17. Заблодський, М. М., & Суржик, В. .В. (2025). Шляхи підвищення енергоефективності насосних агрегатів систем водопостачання з урахуванням динаміки зростання вартості електроенергії. *Енергетика і автоматика, 2,* 13-29. https://doi.org/10.31548/energiya2(78).2025.013

18. Двигуни класу IE5 з вбудованими ЧП забезпечують енергоефективність комерційних будівель. URI : https://www.grundfos.com/ua/learn/research-and-insights/ie5-motors-with-integrated-vfd-deliver-energy-efficient-commercial-building

19 Семенов А. О., Скрипник В. О., Сахно Т. В., Бут А. Optimization of pump unit electric drives in water supply systems based on frequency control / *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2025. № 2(11). С. 91–**95.** DOI: https://doi.org/10.20998/EREE.2025.2(11).336220
URI : https://www.researchgate.net/publication/399214554_Optimization_of_pump_unit_electric_drives_in_water_supply_systems_based_on_frequency_control

20. Класи енергоефективності двигунів IEC. URI : https://ogrant.com.ua/ie3/

21. Гідравлічний удар у водопроводі. Причини, наслідки, запобігання. URI : https://raintech.com.ua/hidravlichnyj-udar-u-vodoprovodi-prychyny-naslidky-zapobihannia/

22. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Київ : Мінрегіон України, 2013. 174 с. URL: https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/101.1.-DBN-V.2.5-742013.-Vodopostachannya.-Zovnishni-merezhi.pdf

23. Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 221 с. URL: https://surl.li/knhiln (дата звернення: 28.02.2026).

24. Насос Д 2000-21. URL: https://agrospecteh.com.ua/ua/p1379699676-nasos-dlya-vodi.html

25. Насос СД 16/25. URL: https://konsolnik.com.ua/uk/nasos-stichno-dynamichni-sd-sdv/nasos-sd16-25/

26. Насос ВКС 4/24. URL: https://ukrnasos-prom.com.ua/ua/p1507624061-nasos-vks-424.html

27. Вантажопідіймальні крани. URL: https://ua.krankomplekt.com/grcran/

28. Технічні характеристики насоса Д 630-90. URL: https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-dvostoronnogo-vuhodu-d-1d/nasos_d630-90/

29. Клинові засувки. URL: https://xn--80aqy.com.ua/uk/armatura/zasuvky/klynovi/

30. Насос Д630-90. URL: https://nep.ua/nasos-d-630-90-saxgidromash?srsltid=AfmBOoou1Uyt4x108lBC-L3HEKsbqbbEXdUIVeTqorJoQq5i5N5GL3C4

Додаток А

e= .01000 nk= 8 ny= 24

Вихідні дані

№	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt
1	380.00	338.02	500.00	c	2	550.00	182.10	400.00	c	3	600.00	297.90	500.00
4	430.00	137.41	450.00	c	5	890.00	204.26	500.00	c	6	820.00	147.32	400.00
7	440.00	30.00	300.00	c	8	650.00	30.00	250.00	c	9	840.00	132.55	400.00
10	800.00	104.55	400.00	c	11	760.00	60.13	350.00	c	12	500.00	50.00	250.00
13	750.00	25.00	250.00	c	14	420.00	60.00	350.00	c	15	570.00	77.28	350.00
16	660.00	56.00	300.00	c	17	480.00	82.19	250.00	c	18	760.00	40.00	250.00
19	900.00	63.55	350.00	c	20	940.00	22.51	300.00	c	21	260.00	51.80	300.00
22	900.00	18.48	250.00	c	23	470.00	70.00	300.00	c	24	740.00	20.00	250.00

Таблиця А.1 – Результати розрахунку для години максимального водоспоживання

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби, мм	довжина ділянки м	витрата води, л/с	швидкість води, м/с	втрати тиску, м
1	0- 1	500.00	380.00	291.32	1.48	2.20
2	2- 0	400.00	550.00	153.98	1.23	2.91
3	0- 1	500.00	600.00	251.20	1.28	2.59
4	0- 1	450.00	430.00	90.71	.57	.48
5	1- 2	500.00	890.00	279.08	1.42	4.74
6	2- 0	400.00	820.00	119.20	.95	2.69
7	1- 3	300.00	440.00	31.49	.65	.53
8	2- 4	250.00	650.00	-20.36	.61	.87
9	0- 3	400.00	840.00	87.34	.70	1.55
10	3- 4	400.00	800.00	127.52	1.01	2.98
11	4- 0	350.00	760.00	82.38	.86	2.46
12	5- 3	250.00	500.00	24.09	.49	.90
13	6- 4	250.00	750.00	11.33	.43	.35
14	0- 5	350.00	420.00	40.70	.42	.38
15	5- 6	350.00	570.00	88.00	.91	2.08
16	6- 0	300.00	660.00	64.58	.91	2.94
17	7- 5	250.00	480.00	44.05	.90	2.62
18	8- 6	250.00	760.00	22.52	.46	1.22
19	7- 0	350.00	900.00	44.71	.46	.95
20	7- 8	300.00	940.00	12.57	.38	.22
21	8- 0	300.00	260.00	42.90	.61	.55
22	8- 0	250.00	900.00	9.58	.40	.32
23	0- 7	300.00	470.00	88.84	1.26	3.80
24	0- 8	250.00	740.00	28.90	.59	1.86

e= .01000 nk= 8 ny= 24

Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt
1	380.00	355.48	500.00	c	2	550.00	197.88	400.00	c	3	600.00	332.87	500.00
4	430.00	190.54	450.00	c	5	890.00	201.05	500.00	c	6	820.00	178.27	400.00
7	440.00	30.00	300.00	c	8	650.00	20.00	250.00	c	9	840.00	140.81	400.00
10	800.00	194.68	400.00	c	11	760.00	123.11	350.00	c	12	500.00	20.00	250.00
13	750.00	15.00	250.00	c	14	420.00	107.96	350.00	c	15	570.00	169.87	350.00
16	660.00	121.51	300.00	c	17	480.00	20.00	250.00	c	18	760.00	20.00	250.00
19	900.00	104.55	350.00	c	20	940.00	75.00	300.00	c	21	260.00	116.48	300.00
22	900.00	97.66	250.00	c	23	470.00	110.00	300.00	c	24	740.00	75.93	250.00

Таблиця А.2 – Результати розрахунку для години максимального транзиту

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби мм	довжина ділянки м	витрата води л/с	швидкість води м/с	втрати напору м
1	0- 1	500.00	380.00	301.13	1.53	2.36
2	2- 0	400.00	550.00	153.26	1.22	2.88
3	0- 1	500.00	600.00	278.52	1.42	3.18
4	0- 1	450.00	430.00	136.19	.86	1.00
5	1- 2	500.00	890.00	300.02	1.53	5.48
6	2- 0	400.00	820.00	133.65	1.06	3.33
7	3- 1	300.00	440.00	-46.45	.66	1.07
8	2- 4	250.00	650.00	-18.53	.58	.73
9	0- 3	400.00	840.00	162.91	1.30	4.97
10	3- 4	400.00	800.00	178.67	1.42	5.70
11	4- 0	350.00	760.00	117.02	1.22	4.71
12	5- 3	250.00	500.00	-14.19	.49	.35
13	6- 4	250.00	750.00	-9.54	.39	.26
14	0- 5	350.00	420.00	164.25	1.71	5.13
15	5- 6	350.00	570.00	144.21	1.50	5.37
16	6- 0	300.00	660.00	90.88	1.29	5.59
17	5- 7	250.00	480.00	7.86	.56	.12
18	8- 6	250.00	760.00	-3.51	.37	.05
19	0- 7	350.00	900.00	148.69	1.55	9.01
20	7- 8	300.00	940.00	84.99	1.20	6.96
21	8- 0	300.00	260.00	62.34	.88	1.08
22	8- 0	250.00	900.00	43.52	.89	4.81
23	7- 0	300.00	470.00	65.86	.93	2.17
24	8- 0	250.00	740.00	21.79	.64	1.12

e= .01000 nk= 8 ny= 24

Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt
1	380.00	443.53	500.00	c	2	550.00	257.10	400.00	c	3	600.00	403.41	500.00
4	430.00	187.92	450.00	c	5	890.00	334.45	500.00	c	6	820.00	222.32	400.00
7	440.00	30.00	300.00	c	8	650.00	30.00	250.00	c	9	840.00	183.06	400.00
10	800.00	174.74	400.00	c	11	760.00	150.13	350.00	c	12	500.00	30.00	250.00
13	750.00	25.00	250.00	c	14	420.00	130.51	350.00	c	15	570.00	127.47	350.00
16	660.00	146.00	300.00	c	17	480.00	50.00	250.00	c	18	760.00	20.00	250.00
19	900.00	39.15	350.00	c	20	940.00	60.51	300.00	c	21	260.00	121.80	300.00
22	900.00	88.48	250.00	c	23	470.00	38.00	300.00	c	24	740.00	50.00	250.00

Таблиця А.3 – Результати розрахунку для пожежогасіння

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби мм	довжина ділянки ,м	витрата води ,л/с	швидкість води ,м/с	втрати тиску ,м
1	0- 1	500.00	380.00	412.32	2.10	4.42
2	2- 0	400.00	550.00	221.40	1.76	6.01
3	0- 1	500.00	600.00	372.20	1.90	5.68
4	0- 1	450.00	430.00	156.71	.99	1.30
5	1- 2	500.00	890.00	401.36	2.04	9.80
6	2- 0	400.00	820.00	186.62	1.49	6.37
7	1- 3	300.00	440.00	57.91	.82	1.60
8	4- 2	250.00	650.00	37.05	.75	2.58
9	0- 3	400.00	840.00	179.76	1.43	6.05
10	3- 4	400.00	800.00	206.69	1.64	7.62
11	4- 0	350.00	760.00	121.47	1.26	5.08
12	5- 3	250.00	500.00	-3.90	.38	.04
13	6- 4	250.00	750.00	2.35	.35	.02
14	0- 5	350.00	420.00	161.11	1.67	4.93
15	5- 6	350.00	570.00	148.17	1.54	5.66
16	6- 0	300.00	660.00	94.70	1.34	6.06
17	7- 5	250.00	480.00	21.20	.63	.69
18	8- 6	250.00	760.00	12.40	.45	.42
19	0- 7	350.00	900.00	98.56	1.02	4.06
20	7- 8	300.00	940.00	60.00	.85	3.65
21	8- 0	300.00	260.00	62.90	.89	1.10
22	8- 0	250.00	900.00	29.58	.60	2.36
23	7- 0	300.00	470.00	-21.41	.50	.28
24	8- 0	250.00	740.00	-8.90	.38	.23